

Technická univerzita v Liberci



Bakalářská práce

KTS-B061

Jakub Krasnický

2013



**Fakulta
strojn**

Technické univerzity v Liberci



TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA TEXTILNÍCH A JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ

Obor: 2302 R022

Zaměření: Stavba strojů

Konstrukční řešení mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla

Structural design of a universal mechanism for lifting squeezers

Bakalářská práce

AUTOR: **Jakub Krasnický**

VEDOUCÍ PRÁCE: **doc. Ing. Martin Bílek, PhD.**

KONZULTANT: **Ing. Miluše Valíčková**

Rozsah práce:

Počet stran:	42
Počet tabulek:	5
Počet obrázků:	25
Počet grafů:	4
Počet příloh:	4

Liberec, červen 2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Krasnický Jakub
Studijní program	B 2341 Strojírenství
Obor	2302 R022 Stroje a zařízení
Zaměření	Stavba strojů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Konstrukční řešení mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla

Zásady pro vypracování:
(uved'te hlavní cíle bakalářské práce doporučené metody pro vypracování)

1. Proved'te analýzu současného řešení univerzálního mačkadla s důrazem na mechanismus tvarování skloviny.
2. Proved'te silový rozbor v současné době používané konstrukce.
3. Vytvořte konstrukční návrh nového řešení mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla, který umožní zachovat výstupní parametry zařízení.
4. Proved'te pevnostní analýzu vybraných částí nového zařízení.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: **30 stran formát A4**
- grafické práce: **výkres sestavení, výrobní výkresy vybraných součástí**


Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):


- Pešík.L., Části strojů: Stručný přehled 2. díl
- Boháček, F. Části a mechanismy strojů III. Převody.
- Juliš, K. – Brepta, R.: Mechanika (Statika a kinematika – I.díl). SNTL Praha 1986
- Brát, V. – Rosenberg, J. – Jáč, V.: Kinematika. SNTL Praha 1987
- Ďaďo Stanislav, Kreidl Marcel: Senzory a měřicí obvody. Monografie ČVUT, Praha 1996.
- Pneumatické řídicí systémy, učebnice FESTO Didactic, Praha 1992.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Bílek, PhD.**

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miluše Valíčková.**




prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.
vedoucí katedry


doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan FS

V Liberci dne 31.9.2012

Prohlášení:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména paragraf 60 – školní díla.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL), nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji – li bakalářskou práci nebo poskytnu – li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Declaration:

I have been notified of the fact that Copyright No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I fully aware, that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to see that I pay the expense invested in the creation of my thesis to full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledges sources and on the basic consultation with the head of thesis and a consultant.

Datum/ date:

Podpis / Signature:

Poděkování:

Děkuji tímto paní Ing. Miluši Valíčkové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Martinu Bílkovi, PhD. za poskytnutí rad při uspořádání sestavy a měřeních. V neposlední řadě i firmě Preciosa, a. s. za poskytnutí potřebné dokumentace a zadání bakalářské práce.

Abstrakt:

Práce se zabývá popisem univerzálního mačkadla na sklo a hlavně inovace části pro zdvih univerzálního mačkadla. V práci je proveden silový rozbor v současné době používané konstrukce. Hlavní část práce se zabývá návrhem nového řešení mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla. Podmínkou je, aby návrh nového zařízení splňoval výstupních parametry původního zařízení, provedení silového rozboru a porovnání se stávajícím stavem. Výsledkem práce je nový návrh univerzálního mačkadla na sklo a jeho zhodnocení. Samotná analýza je provedena v programu Pro/Engineer, v nadstavbě MECHANISM.

Klíčová slova:

Univerzální mačkadlo, silový rozbor, pevnostní analýza, zdvih, vačka, čep.

Abstract:

This work describes a universal masher glass and the main innovation of the universal lift mashers. The work performed strength analysis currently used construction. The main part of the paper deals with a new solution mechanism for lifting the universal mashers. The condition is that the proposed new facilities to meet the output parameters of the original equipment design power analysis and comparison with the current situation. The result is a new design of universal masher glass and its evaluation. The analysis is done in Pro/Engineer, in the superstructure MECHANISM.

Keywords:

Universal masher, strength analysis, stress analysis, stroke, cam, tenon.

Obsah:

1. Úvod

- 1.1 Sklářský průmysl
- 1.2 Rozdělení způsobů mačkání
- 1.3 Porovnání historických mačkadel se současnými
- 1.4 Cíle práce

2. Popis univerzálního mechanismu mačkadla

- 2.1 Lisovací mechanismus
- 2.2 Krokový mechanismus
- 2.3 Píchací mechanismus

3. Původní mechanismus mačkadla

- 3.1 Popis vybrané části mechanismu pro inovaci
- 3.2 Rozbor mechanismu a silové poměry
- 3.3 Problematika vaček
 - 3.3.1 Problematika vačky současného mechanismu

4. Návrhy nových řešení - kritéria

- 4.1 Popis nových řešení
- 4.2 Popis vybraného řešení
- 4.3 Pevnostní a silová analýza nového řešení
- 4.4 Popis upravených součástí
- 4.5 Porovnání a vyhodnocení původního řešení mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla na sklo s novým konstrukčním řešením

5. Závěr

6. Seznam literatury

7. Seznam obrázků, tabulek a grafů

1. Úvod:

1.1 Sklářský průmysl

Drobné sklářské zboží je na severu Čech vyráběno s dlouholetou tradicí. Od počátku 19. století se zde vyrábí různé drobné broušené skleněné výrobky. Skleněné šperky byly oproti šperkům z drahých kovů dostupné pro všechny vrstvy obyvatel. Poptávka po bižuterii stoupala, a protože na počátku století se u nás obecně začal rozvíjet průmysl, vyrábělo se i více skleněného zboží. Rozvojem průmyslu a větší poptávkou po zboží se zlepšovala i mechanizace strojírenského průmyslu a v tomto případě na severu Čech oblíbeného sklářského průmyslu.

Výroba bižuterie je velmi rozmanitá, proto vyžaduje velké množství operací. Na počátku je výroba suroviny (tavení skloviny, výroba tyčí), následuje tvarování (výroba polotovaru) a poslední operací je zušlechťování (broušení, leštění, rumplování). Hotové výrobky se třídí a na konci samotné výroby se kontroluje jejich kvalita.

Asi nejdůležitější částí výroby je samotné tvarování výrobku, výlisku. Jedná se o operaci, kde z natavené skloviny dostaneme tvar finálního výrobku nebo jeho polotovar pro další zpracování. Tvarování závisí na působící síle, které pomáhá samotná viskozita skla, jež je základem tvarování skla. Jde o poměrně složitý děj, kdy se využívá mechanické sepratosti a také tepelných dějů jako je například odvod tepla. Jelikož jsou oba děje na sebe vázány, mají velký vliv na výsledný výrobek a jeho kvalitu.

Jedním z nejpoužívanějších způsobů výroby skleněných polotovarů je mačkání. Je to metoda lisování výrobků ze žhavé skloviny a to většinou menších tvarů, jako jsou např. knoflíky, perly, skleněné kameny, dropsy (hrušky), hlavičky a další výrobky s různými tvary a velikostmi. Během výroby docházelo ke vzniku různých typů mačkadel, které využívaly i rozmanitých tvarů forem vzhledem k poptávce odběratelů. Tomuto trendu se přizpůsobovala i strojírenská mechanizace (sklářství).

Mezi nejstarší způsoby výroby patří ruční lisování pomocí kleští s tvárnici, které mačkaly předem nahřáté skleněné tyče. Rozvoj zapříčinil, že se technolo-

gie zdokonalily. Samotná snaha o zdokonalení mačkadel byla velmi významná v jejich inovaci a nových konstrukcích, ale jen některá z nich se uchytila. Jejich zásadní vlastností je efektivní výroba výlisků, která spočívá zejména ve snižování nákladů a zvýšení samotné kvality výrobků, zbytečnému neplýtvání materiálem a šetřením výrobního času.

Postupem času se začala vyrábět mechanizovaná mačkadla na sklo. Nakonec došlo k výrobě automatického mačkadla, které činnost vykonává bez ručního zásahu člověka. Mezi významná mačkadla můžeme zařadit Kopalovo mačkadlo, které se používá dodnes a je specifické v tom, že jednotlivé kroky zajišťuje vačková hřídel poháněná elektromotorem. Bohužel problémem u tohoto mačkadla je to, že dělník musí ručně provádět odtah tyče. Proto se tato mačkadla začala plně automatizovat.

1.2 Rozdělení způsobů mačkání

Mačkání sklářských výrobků můžeme rozdělit dle různých kritérií. Jedním z nich může být podle zdrojů skloviny. Dodnes se používají skleněné tyče, které mají nahřáté konce. Protože je vše modernizované a produktivnější, začalo se mačkání automatizovat a k tomu právě dopomohlo dávkování přesného množství skloviny z nátoků.

Rozeznáváme dva způsoby tvarování. Pomocí vytékání proužku skloviny z přetavovací pícky, tzv. dvoustupňová nebo jednostupňová výroba, která využívá výtokového kanálu z tavícího agregátu.

Postupně se zjistilo, že teplotní gradient u zpracování skleněných tyčí má výhodné vlastnosti hlavně pro výslednou kvalitu samotného výrobku. Při samotném tvarování tyčí se z povrchu odvádí teplo rychleji z hlubších vrstev a povrch tak není zpětně zahříván od jádra (nedochází k zvětšení objemu vlivem teplot). Této vlastnosti se muselo docílit i u proužku skloviny natékající přímo do stroje, protože jádro má vyšší teplotu než samotný povrch, a to pomocí vyhřívání nátoků.

Při zpracování polotovaru je důležité zaměřit se také na následné technologie zpracování podle broku. Jedná se o technologii pracující s přebytkem skloviny. Tvarování je docíleno pomocí dvou uzavírajících se kaplíků. Po zatuhnutí

vzniká brok, tzv. přelisek. Protože se tento brok musel následně odstranit, docílilo se metody bezbrokové, která využívá přesného dávkování skloviny a samotná forma umožňuje kompenzaci objemu skloviny.

Mačkání můžeme dále rozdělovat podle samotného pohonu. Rozeznáváme tři druhy pohonu:

- a) ruční, který obstarává člověk. Nahřívání tyčí, pohyb čelistí a přísun tyčí mezi formami.
- b) Mechanizovaný neboli ručně strojní, kde se samotné mačkání v čelistech docílí pomocí strojního pohonu a všechny další manipulace s tyčemi dělá pracovník obsluhující stroj.
- c) Automatická, tzn., že celé zařízení je plně automatizováno a pracovník pouze kontroluje správnost chodu, popřípadě zasáhne a běh stroje ovlivní, aby nedošlo k závadě.

1.3 Porovnání historických mačkadel se současnými

Tento typ univerzálního mačkadla první generace, které se inovuje, bylo vyrobeno v polovině 19. století a používá se dodnes s menšími úpravami. Hlavním důvodem, proč se dále rozvíjelo, bylo to, že jeho spolehlivost je i v náročných podmínkách vysoká, samotné ovládání je velmi lehké a mačkař se s ním rychle naučí pracovat. I když mechanismus pracuje v prašném prostředí, kde je vystaven vysokým teplotám způsobených tavením skloviny, je jeho další výhodou jeho produktivita a spolehlivost.

Na mačkadle jsou vyměňovány jednotlivé díly zřídka. Přesto, že tyto stroje působením sil doslova skáčou, jsou spolehlivé.

Používají se i mačkadla druhé a třetí generace, která využívají servomotoru. Ty jsou proti vačkám náchylné na provoz v náročném prostředí. Další nevýhodou je, že realizace takových mačkadel je finančně náročná. Proto se raději využívá levnější metody s vačkami.

Výhodou těchto nových strojů je jejich přesnost a výroba výrobků s lepší kvalitou než jsou z mačkadel pomocí vaček, u kterých se musí počítat s větším odpadem a po vymáčknutí s dalším opracováváním výrobků.

Univerzální mačkadlo nebylo inovováno, jelikož jeho výroba a i údržba je levná a vyplatí se vyměňovat opotřebené díly jako je právě nejvíce namáhaný čep na zdvihovém mechanismu.

1.4 Cíle práce

Pro výrobu drobného sklářského zboží používá firma Preciosa v Desné a Kamenickém Šenově k výrobě univerzální mačkadlo, které je velmi podobné Maturovu mačkadlu a pro svoje účely upravené a vylepšené „Maturovo mačkadlo“. Je to automatický stroj s brokovým lisováním výrobku z roztavené skloviny. Část stroje, která umožňuje nastavování příslušného zdvihu stolu, nebyla dobře navržena. Dochází k její časté poruchovosti, opotřebení a následné výměně a tím pádem je nutno zastavovat výrobu.

Obsahem bakalářské práce je provedení rozboru univerzálního mačkadla v části zdvihového mechanismu a jeho následná konstrukční změna, která by zajistila potřebný zdvih mechanismu tak, aby se docílilo zlepšení chodu stroje bez stálých oprav z důvodu ničení posuvného čepu nastavování. Z důvodu výměny a zastavování stroje se snižuje produktivita výroby.

Bude provedena analýza současného řešení univerzálního mačkadla s důrazem na mechanismus tvarování skloviny a následně pak silový rozbor v současné době použité konstrukce. U nového návrhu konstrukčního řešení mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla musí být zachovány výstupní parametry původního zařízení. Tento nový návrh bude nadále pevnostně analyzován a porovnán s původním řešením.

2. Popis univerzálního mechanismu mačkadla:

Univerzální mačkadlo je jedním z nejčastěji používaných tvarovacích strojů. Používá se hlavně pro jeho vysokou výkonnost, nízké výrobní náklady, produktivitu a zároveň flexibilitu. Univerzálním mačkadlem na sklo se vyrábí výrobky typu perel, knoflíků, hlaviček, skleněných kamenů a to všechno v různých velikostech a tvarech. Jde o výrobu brokovou, proto se výrobek musí zbavit přelisku.

Jelikož se jedná o stroj automatický, pracovník zde zasahuje velmi zřídka. Rozeznáváme dva způsoby výroby:

- a) jednostupňovou, která spočívá v tom, že je sklovina přiváděná pomocí tavícího kanálu agregátu.
- b) Dvoustupňovou výrobu a s tím spojenou vytékající sklovinu z přetavovací pícky.

Mačkadlo se skládá z rámu (viz obrázek 1), který obsahuje mačkácí mechanismus, a z příslušenství, které ovládá a pohání mačkadlo. Aby bylo docíleno správných pracovních podmínek, musí mít sklovina, která je přiváděna do stroje, správnou viskozitu.

Forma se skládá ze dvou kaplíků. Jednoho pevného, který je upevněn přímo v rámu mačkadla, a druhého pohyblivého, který je možno posunovat. Oba kaplíky jsou chlazeny vodou, jelikož zde proudí sklovina o vysoké teplotě a dochází k jejich přehřívání a ničení.

Hlavní pohyb celého mechanismu je řízen čtyřmi vačkami o příslušné charakteristice, která nám zprostředkovává potřebný chod stroje (viz obrázek 1).

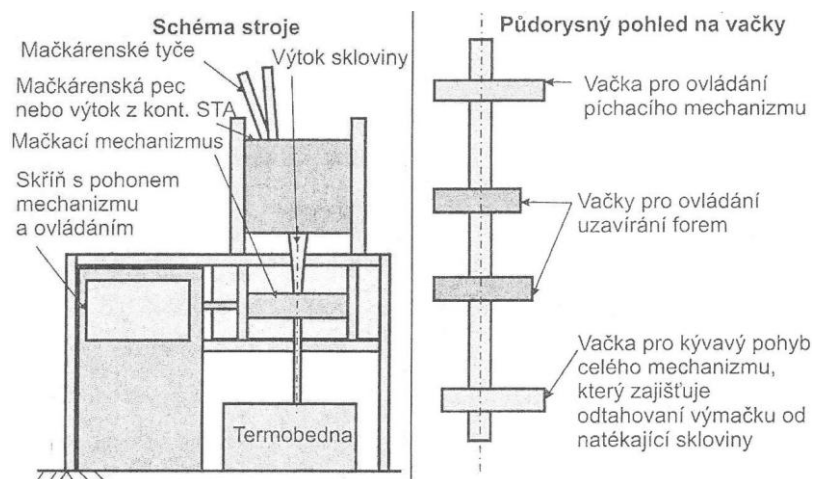
- a) Dvě vačky umožňují uzavírání forem,
- b) Další vačka umožňuje kývavý pohyb celého mechanismu. Tento pohyb zajišťuje odtahování výmačku od natékající skloviny.
- c) Poslední vačky ovládá píchací mechanismus, který dělá dírky do skloviny. Lze docílit i toho, aby tato vačka neměla žádný vliv a tím se vyráběly výrobky bez děr.

Mechanismus koná pohyb přímočarý a vratný v rovině horizontální. Ten docílí protékání skloviny mezi formou tzv. kaplíky a pohyb vratný v rovině vertikální, který se nazývá krok. Vačky jsou umístěny na vačkové hřídeli a jsou po-

háněny elektromotorem přes řemenový převod. Rychlost mechanismu neboli mačkán, se tedy řídí pomocí elektromotoru a jeho pohyb je ovlivněn vzájemnou synchronizací vaček.

Nejvíce využívaný typ spojení je, že se mačkadlo umístí pod nátok z mačkácké pece, ve které jsou skleněné tyče. Ty se přetaví pomocí hořáku na sklovinu o správné viskozitě. Proužek skloviny je pak pomocí kývavého pohybu vačkou odejímán z pícky a následně samotným lisovacím cyklem tvarován. Vytvarovaný výlisek je po otevření formy přidržován čelistmi držáku a po jejich uvolnění sklouzne po žlabu do termobedny. Mačkař musí dávat pozor na základní požadavky pro výrobu: jakost výrobku, okolí broku, správnou tvarovací teplotu, množství skloviny v pícce apod. Kvalitu a jakost ovlivníme pomocí seřizování stroje např. rychlostí jeho chodu, délkou jednotlivých kroků atd. Obvykle může obsluhovat dvě mačkadla najednou.

Sortiment, který je nejčastěji vyráběn pomocí mačkání, jsou perle o průměru 3 – 20 mm, litografické kuličky \varnothing (5 – 28) mm, sluníčka \varnothing (5 – 16) mm, lustrové hlavičky. Maximální počet, který stroj dokáže vyrobit o průměru \varnothing 3 mm, je asi 37 000 ks za den a o průměru 6 mm je to zhruba o polovinu méně. Počet taktů je přibližně 300 za minutu a výtěžnost se pohybuje kolem 50 %. To znamená, že zbylých 50 % se po kontrole kvality se opět nataví a zpracuje.



Obrázek 1: Schéma mačkadla a vačkového uložení [1].

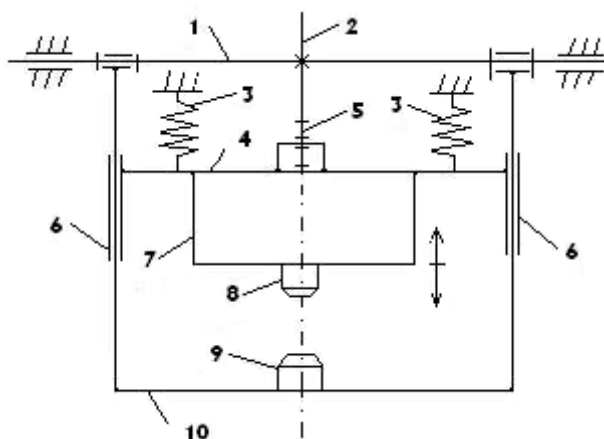
2.2 Lisovací mechanismus

Hlavní částí lisovacího mechanismu je rám, na kterém jsou umístěny všechny potřebné součásti mechanismu (viz obrázek 2). Pomocí otočného uložení je

k rámu připevněna vačková hřídel obstarávající pohyb mechanismu celého mačkadla. Na hřídeli jsou umístěny válce, které nám přesně vymezují pohyb mechanismu. Válce jsou vyrobeny z bronzu a jsou spojeny příčnickem, na němž je připevněna jedna z tvárnic. Druhá tvárnice je pevně upevněna na rámu. Samotné tvárníky jsou vyměnitelné a tím pádem můžeme bez problému měnit sortiment výrobků a velikost výmačku. Samotný proces výměny ale provádíme za klidu.

Důležitou součástí mechanismu je chlazení, které je zajištěno soustavou trubiček procházejících tvárnici. Chladicím médiem je voda. Médium prochází přes pevně uloženou tvárnici a tu ochlazuje a tím pádem nedochází k výkyvům teplot a změny struktury materiálu.

Samotný zdvih mechanismu je závislý na geometrii lisovací vačky. Vačka je umístěna na hřídeli, který je poháněn centrálním motorem přes řemenový převod. Zdvihové závislosti můžeme změnit výměnou vačky. Rozeznáváme dva druhy zdvihu a tím i vaček. Jsou to zdvihy velké a malé. Jejich výměnou dosáhneme požadované velikosti výrobku. Využíváme zde vačky se zdvihem $z=16\text{ mm}$, kterou můžeme zařadit do malých zdvihů.

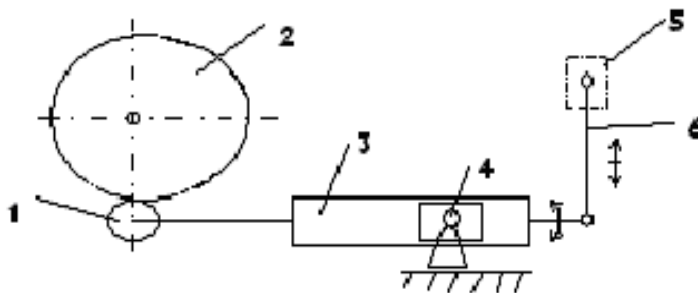


Obrázek 2: Schéma lisovacího mechanismu, 1- hřídel, 2- vačka, 3- pružina, 4- deska, 5- kladka, 7- držák kaplíku, 8- pohyblivý kaplík, 9- pevný kaplík, 10- rám.

2.3 Krokový mechanismus

Krokový mechanismus zajišťuje vačka, která nám samotný krok určuje (viz obrázek 3). Podle geometrie vačky se řídí celý chod mechanismu. Ten je přenášen na rolnu, ta působí na páku, která se pohybuje ve vertikálním směru.

Protože je páka pevně spojena s rámem mechanismu, dochází k jeho vertikálnímu pohybu. Páka se tedy otáčí v uložení, které je umístěno rotačně na čepu (pomocí kamene) a posuvně ve vedení páky. Změnou nastavení ramene páky lze docílit potřebnou velikost samotného zdvihu na konci páky. Pro náš definovaný zdvih vačky, který je $z=16\text{ mm}$ se zdvih stolu pohybuje v rozmezí od $z_{min}=10\text{ mm}$ do $z_{max}=48\text{ mm}$. Toto lze regulovat pomocí čepu umístěného na páce. Čep regulujeme šroubem, v našem případě pomocí kličky na závitové tyči, která prochází samotným čepem.



Obrázek 3: Schéma krokového mechanismu, 1- rolka, 2- vačka, 3- páka, 4- úložný čep (posuvný), 5- rám lisovacího mechanismu, 6- táhlo.

2.4 Píchací mechanismus

Součástí mačkadla je i mechanismus pro tvorbu děr. U tohoto univerzálního mačkadla je možno píchací mechanismus odebrat a docílit výroby skloviny bez dírek tím, že vačku pro píchání odmontujeme z vačkové hřídele. Samotný píchací mechanismus ovládá vačka, která je pomocí táhla, páky a čepu spojena s držákem jehelníku. Ten je pomocí tlačných pružin spojen s rámem lisovacího mechanismu. Jsou dva způsoby píchacího procesu výroby a to:

- a) ze strany (z boku) - díra je tvořena v rovině broku nebo je s ním rovnoběžná,
- b) od vrchu (shora) – díra je kolmo na rovinu broku.

Stejně jako u krokového mechanismu nám zdvih určuje píchací vačka a její výměnou změníme zdvih, který opět můžeme rozdělit na malý a velký podle toho, jaký výrobek budeme děrovat.

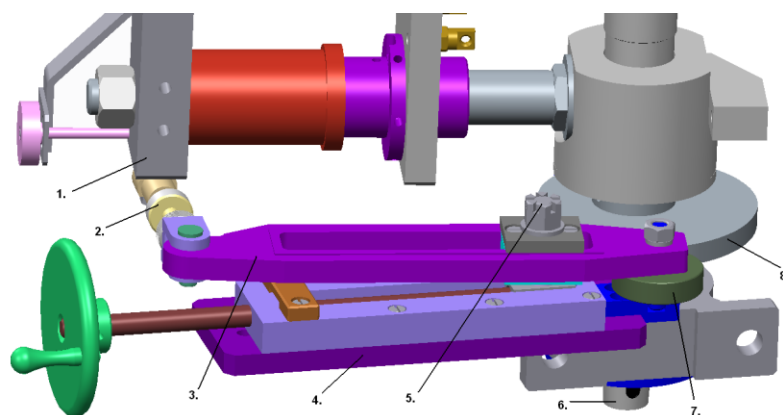
3. Původní mechanismus mačkadla:

3.1 Popis vybrané části zařízení pro inovaci

Jedná se o zdvihový mechanismus (viz obrázek 4), který přes vačkovou hřídel pomocí vačky zajišťuje odtahování výmačku od natékající skloviny a tím hýbe celým stolem mačkadla. Hlavním problémem je, že čep, na kterém je rolna umístěna, je pomocí vedení pevně připevněn k základní desce spojené se skříní s pohonem. Svou polohou vymezuje pohyb celého mechanismu. Pohybem dochází k zničení uložení čepu spojeného vahadlem, na jehož konci je rolna a na druhém samotný rám lisovacího stroje.

Pomocí šroubu umístěného ve vedení lze měnit změnou polohy čepu poměr ramena páky a docílit tak jiného pohybu samotného mechanismu podle naší potřeby. Protože se velmi často čep opotřebovává a ničí, dochází k jeho výměně a tím zbytečnému zastavování stroje. Je nutné navrhnout mechanismus tak, aby jeho výstupní parametry byly stejné i po jeho inovaci. Jedním z požadavků bylo, aby samotný krok šroubu byl stejný i po změně mechanismu a zdvih zůstal nezměněn. Tímto bude docíleno větší produktivity a tedy i optimálních pracovních podmínek.

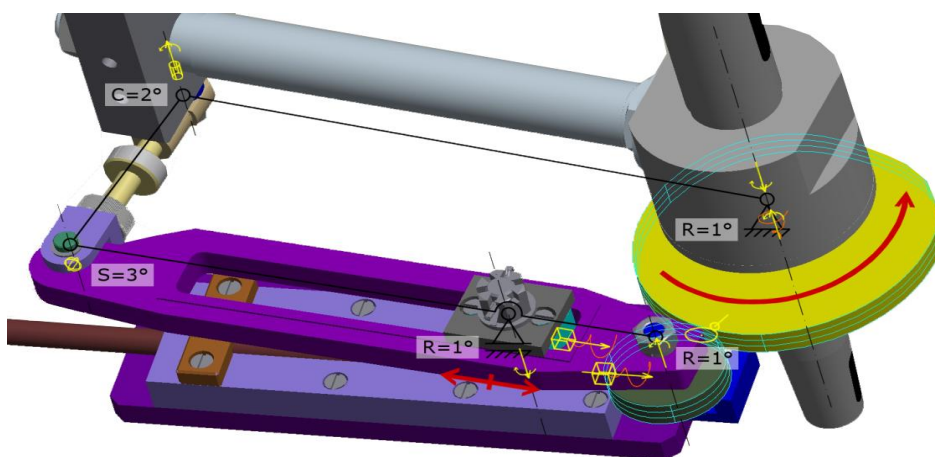
Možným dalším problémem, proč se čep tak ničí, je to, že celý mechanismus je namáhán reakčními silami vzniklými od pohybu vahadla hlavně na posuvném čepu. Na samotném čepu leží také celá váha mechanismu pro zdvih a tím je čep také deformován. Čep je totiž jediným opěrným bodem, který je spojen s deskou přišroubovanou ke skříní s pohonem.



Obrázek 4: *Současný mechanismus (vybraná část mechanismu), 1- lisovací stůl, 2- vidlice, 3- vahadlo, 4- rám vahadla, 5- posuvný čep, 6- vačková hřídel, 7- rolna, 8- vačka.*

3.2 Rozbor mechanismu a silové poměry

Hlavním účelem tohoto mechanismu je převedení otáčivého pohybu na pohyb posuvný. Pomocí vačky o určité geometrické charakteristice dokážeme přes rolnu (s ní spojenou bodovým stykem) přenést sílu na vahadlo, jejímž působením se vykývá. Změnou polohy čepu na vahadle měníme velikost zdvihu na jeho konci. Spojení se pohybuje kývavým pohybem, a kdybychom si na něm udělali provizorní bod, vyčetli bychom z jeho trajektorie, že se pohybuje po části kružnice a vykonává pohyb posuvný po křivce.

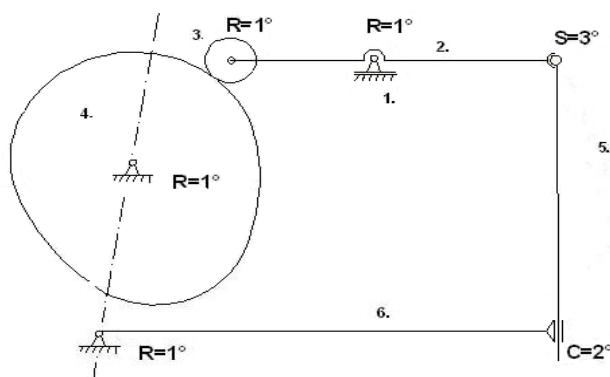


Obrázek 5: Vyjádřené vazby pomocí Pro/Engineeru.

Jelikož byl daný zdvihový mechanismus modelován pomocí programu Pro/Engineer (viz obrázek 5), musela být vytvořena funkční sestava a ta správně zavazbena, aby měla 1° volnosti. Pomocí vzorce Grubler-Čebyševova (1) vazbové závislosti pro určení volnosti ve 3D bylo zjištěno, že tento mechanismus se skládá ze čtyř rotačních vazeb R , které mají stupeň volnosti 1°, sférické vazby S se stupněm volnosti 3° a pomocí cylindrické vazby C s dvěma stupni volnosti. Vačka je umístěna na vačkové hřídeli, která znázorňuje osa O , na kterou je rotačně připevněn pomocí ramena rám lisovacího mechanismu (viz obrázek 6). Celý mechanismus se spočítá pomocí vzorce [2]:

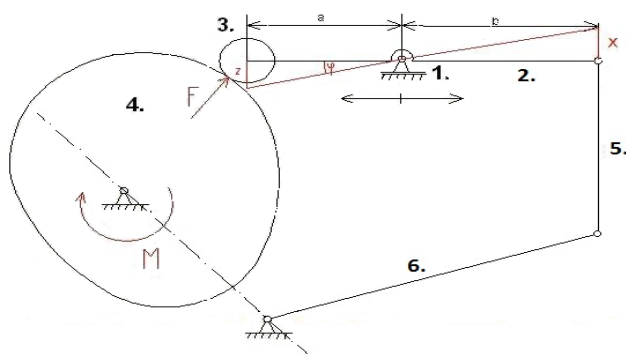
$$i = 6 \cdot (n - d - 1) + \sum i_j = 6 \cdot (4 - 4 - 1) + 7 = 1^\circ \quad (1)$$

n = počet členů, d = kinematické vazby, i_j = stupeň volnosti



Obrázek 6: Schéma vazeb pro určení stupňů volnosti, 1- úložný čep (posuvný), 2- vahadlo, 3- rolna, 4- vačka, 5- vidlice, 6- rám lisovacího mechanismu.

Byly změřeny zdvihy mechanismu, který působí na rameni, kde dochází ke změně ramena na páce (viz obrázek 7). Změnou polohy čepu se mění i samotný zdvih označený v tabulce hodnotou x (viz tabulka 1). Podle potřebných parametrů by se hodnota zdvihu na konci vahadla měla pohybovat v rozmezí od 10 mm až 48 mm. Vypočítané výsledky jsou uvedeny v tabulce a měly by pokrývat celé rozpětí rozsahu, ve kterém bychom se měli pohybovat.

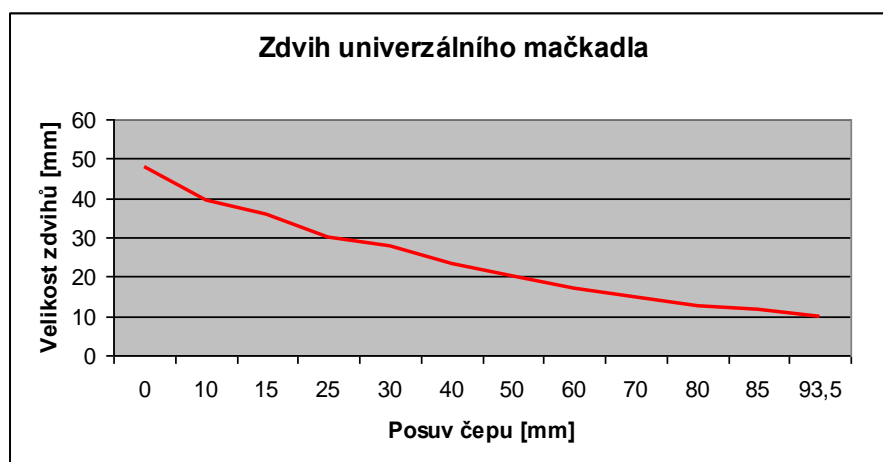


Obrázek 7: Schéma změny ramena vahadla.

Tabulka 1: Spočtených hodnot zdvihu při změně ramena.

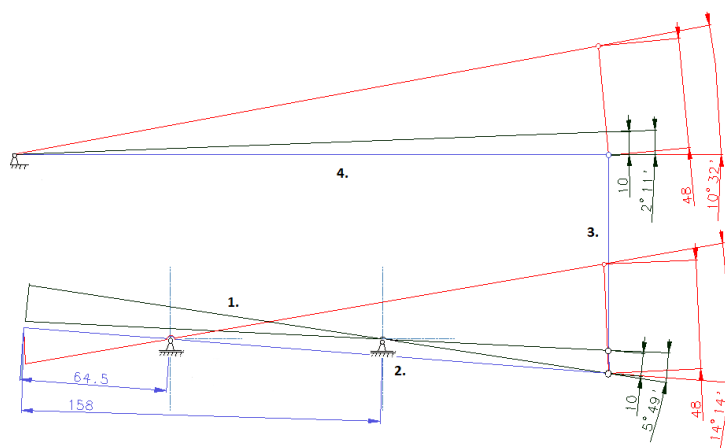
[mm]	a	b	x
0	64,5	193,5	48
10	74,5	183,5	39,41
15	79,5	178,5	35,92
25	89,5	168,5	30,12
30	94,5	163,5	27,68
40	104,5	153,5	23,5
50	114,5	143,5	20,05
60	124,5	133,5	17,15
70	134,5	123,5	14,69
80	144,5	113,5	12,56
85	149,5	108,5	11,61
93,5	158	100	10

Pro lepší zhodnocení změny ramena vahadla jsou vypočtené hodnoty uvedeny taky v *grafu 1*. Lze vycházet z *obrázku 7*, kde se hodnota posuvu kamene odvozuje od původní polohy, kdy čep je od rolny vzdálen 64,5 mm. Jeho hodnota roste tím, jak se čep posouvá od rolny.



Graf 1: Zdvih univerzálního mačkadla.

Byly zjištěny poměry ramen, která vytváří jednotlivé zdvihy a byly dále změněny hodnoty zdvihu, o které se pohybuje celý stůl (*viz obrázek 8*). Při nejvyšším zdvihu $z=48\text{ mm}$ se samotný stůl, který je spojen vidlicí s vahadlem pohne o úhel $10^{\circ} 32'$ a zdvih 48 mm , jelikož stůl je sice uložen na vačkové hřídeli, ale jeho délka je větší, než je délka vahadla. Při zdvihu $z=10\text{ mm}$ je úhel naklonění $2^{\circ} 11'$ pak se samotný stůl zvedá o 10 mm . Jelikož jde o to, aby se samotný stůl pohyboval v daném rozmezí, budou tyto hodnoty brány jako jedny z hlavních parametrů pro samotnou konstrukci. Zdvih vahadla nemusí být tedy v požadavcích od $z=(10-48)\text{ mm}$, ale musí se dodržet potřebný úhel náklonu stolu $2^{\circ} 11'$ až $10^{\circ} 32'$ a tedy zdvihy od 10 do 48 mm .



Obrázek 8: Úhel naklonění stolu, 1- vahadlo 2- úložný čep (posuvný), 3- vidlice, 4- rám lisovacího mechanismu.

Na pohánění vačkové hřídele byl použit elektromotor, který byl pomocí 3 řemenic převodován na potřebné otáčky. Jelikož byl pouze dán výkon motor $P=0.75 \text{ kW}$ a otáčky $n=685 \text{ ot./min}$ bylo pomocí vzorců určených pro výpočet řemenového převodu vypočítán krouticí moment na vačkové hřídeli. Z převodového poměru určíme potřebné otáčky a pak následně spočteme samotný konečný krouticí moment a otáčky hřídele. Jelikož byly spočteny koncové otáčky, dokázali jsme z krouticího momentu vyjádřit pomocí vzorce sílu, která působí na rolnu. Rolna je od čepu umístěna v pevně dané vzdálenosti na vaadle. Přes rolnu dochází k vytváření ohybového momentu na úložný čep, který je nejvíce namáhán a dochází k jeho ničení.

Výpočet otáček, krouticího momentu a síly působící od elektromotoru [3]:

Obecné řešení :

$$P = F \cdot v \quad (3)$$

$$P = M_k \cdot v = F \cdot R \cdot 2\pi m \Rightarrow M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{30P}{\pi \cdot n} [Nm] \quad (4)$$

$$M_k = F \cdot R = F \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F = \frac{2M_k}{D} \quad (5)$$

$$i = \frac{d_2}{d_1} \Rightarrow i = \frac{n_1}{n_2} \quad (6)$$

Řešeno pomocí vzorce (4):

$$M_1 = \frac{P}{\pi \cdot n} = \frac{0.75 \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi} = 10,45 \text{ Nm}$$

Výpočet otáček na řemenici 1 (6):

$$i_1 = \frac{540}{125} = 4,32$$

$$\Rightarrow i = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{685}{4,32} = 158,5 \text{ ot. / min.}$$

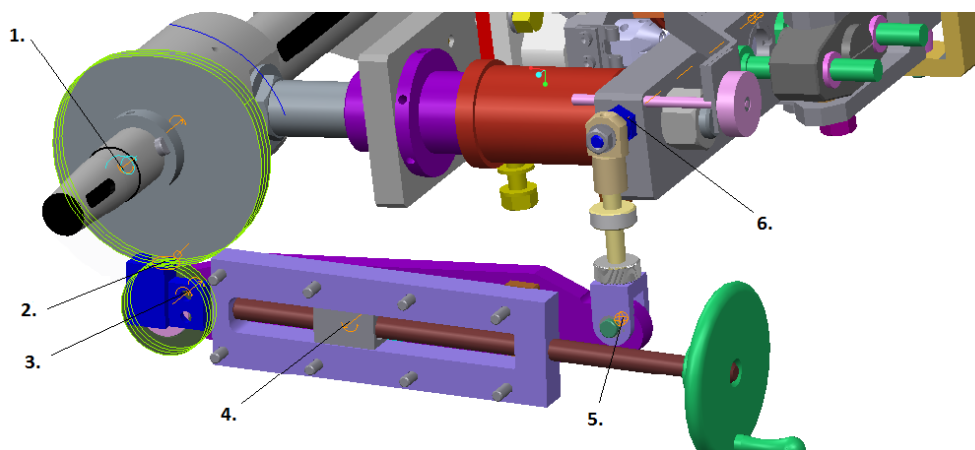
Výpočet otáček na řemenici 2 (6):

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{159}{90} = 1,76$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{158,5}{1,76} = 90 \text{ ot. / min.} \Rightarrow n_2 = 1,5 \text{ ot / sek.}$$

Vypočtený krouticí moment a otáčky byly využity k tomu, aby bylo možno rozeběhnout sestavu, kterou byla vytvořena v Pro/Engineer a jeho prostředí Mechanism. V tomto prostředí se po správném zavazbení a následném rozpo-
hybování podařilo pomocí simulace změřit hodnoty působící na zdvihový me-
chanismus. Byly změřeny síly (viz *obrázek 9*), které působí na nejvíce deforma-
vanou součást, a to je posuvný čep, sílu přenášená mezi vačkou a rolnou a ta-

ké mezi vahadlem a vidlicí. Vidlice spojuje vahadlo s lisovacím stolem. Tyto síly jsou uvedeny v *tabulce 2*. Hodnoty sil budou porovnány s naměřenými silami, které budou změřeny na nové konstrukci zdvihového mechanismu univerzálního mačkadla. Hodnoty sil by měly být v novém řešení menší než v řešení původním, aby vyhovovaly kritériím, která jsou uvedeny v cílech práce. Menším působením sil docílíme, že mechanismus nebude tak namáhán a jeho konstrukce vydrží déle bez výměny jednotlivých součástí mechanismu. Jelikož dochází k otáčení vahadla kolem čepu, byl naměřený i ohybový moment, který působí na posuvný čep. Z *tabulky 2* je vidět, že axiální síly, které působí na celou soustavu zdvihu, jsou u měřených součástí zanedbatelné nebo jejich hodnota je nulová. Proto se tedy budeme zabývat hodnotami pouze radiálního zatížení, které hlavně působí na mechanismus.

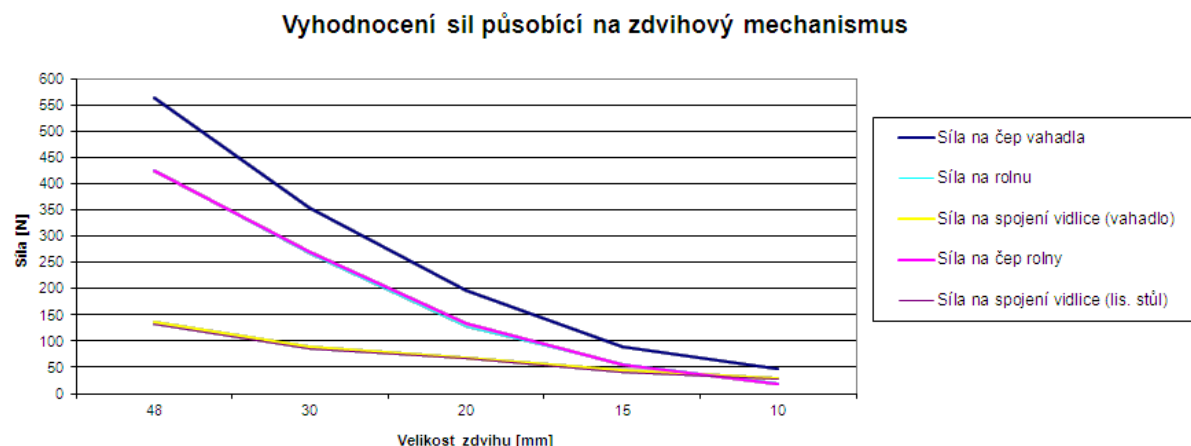


Obrázek 9: Síly a momenty působící na původní mechanismus, 1- moment otáčející vačkovou hřídelí, 2- síla působící mezi rolnou a vačkou, 3- síla působící na čep rolny, 4- síla a moment působící na posuvný čep vahadla, 5- síla působící na čep vidlice ve vahadle, 6- síla působící na uložení vidlice v lisovacím stole.

Tabulka 2: Souhrn sil a momentů působících na původní zdvihový mechanismus.

Síly a momenty	Původní mechanismus:		
	Max. poloha ($Z_{max} = 48 \text{ mm}$)	Střední poloha	Min. poloha ($Z_{min} = 10 \text{ mm}$)
Síla na čep vahadla (radiální) [N]	564,56	141,063	46,36
Moment na čep vahadla [Nmm]	560,54	484,562	266,17
Síla na čep rolny (radiální) [N]	425,65	81,42	19,1
Síla na spojení vidlice (vahadlo) [N]	136,44	59,359	27,989
Síla na spojení vidlice (lis. stůl, radiální) [N]	132,89	57,817	27,263
Síla na rolnu [N]	426,42	82,183	19,779

Jednotlivé změřené hodnoty z *tabulky 2* pro lepší porovnání jsou uvedeny i v *grafu 2*. Hodnota sil na spojení vidlice jsou skoro totožné jak pro uložení na vahadle tak i na lisovacím stole a tak se v grafu překrývají.



Graf 2: Souhrn sil působící na původní mechanismus.

3.3 Problematika vaček

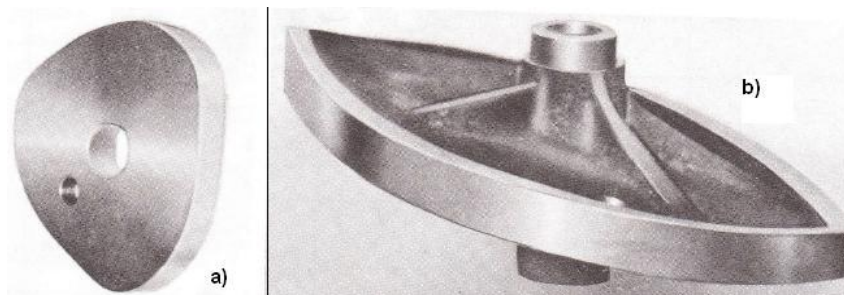
Jeden z hlavních aspektů, který ovládá celý mechanismus, je vačka. Její geometrická charakteristika nám určuje, jak se celý mechanismus bude pohybovat. Zajišťuje převod otáčivého pohybu na posuvný, a to v přesně vymezeném okamžiku. Obvykle je hnacím členem mechanismu.

Vačkové mechanismy se často uplatňují v konstrukcích strojů a zařízeních zejména pro snadnost realizace rozmanitých pracovních pohybů. Z rostoucích požadavků kladených na jejich výkonové parametry vyplývá nutnost použití moderních výpočetních metod při konstrukci a výrobě těchto mechanismů.

Vačkové mechanismy velmi přesně realizují požadované pracovní pohyby při malém počtu členů umístěných v poměrně malém prostoru. Využívají se zejména u strojů textilních, sklářských, tvářecích, obráběcích, dopravních a zemědělských. Nejběžnějším typem vaček jsou radiální, popř. axiální (bubnové) vačky (*viz obrázek 10*). Na jednom vačkovém tělese může být vytvořeno více činných ploch.

Kinematická analýza vačkového mechanismu může poskytnout cenné informace o pohybu pracovního členu i v případech, kdy chybí dokumentace a řešení provádíme na základě změřených údajů o mechanismu a vačce. Pojmem kinematická analýza vačkového mechanismu rozumíme určení pohybu

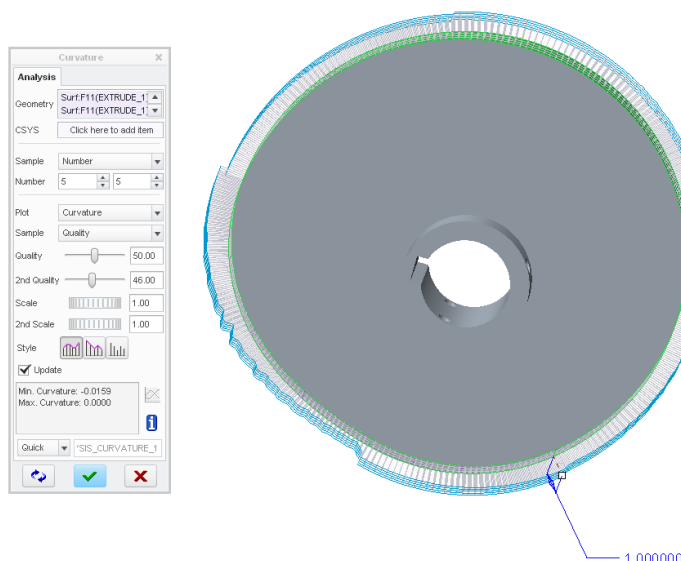
pracovního členu pro dané rozměry mechanismus při pohybu a dané geometrie vačky. Tuto úlohu řešíme tehdy, je-li mezi zvedákem a pracovním členem vložen regulární mechanismus s nelineárním převodem, nebo jsou-li jednou vačkou poháněny různé paralelně řazené mechanismy.



Obrázek 10: Příklady vaček, a) radiální vačka, b) axiální vačka [4].

3.3.1 Problematika vačky současného mechanismu

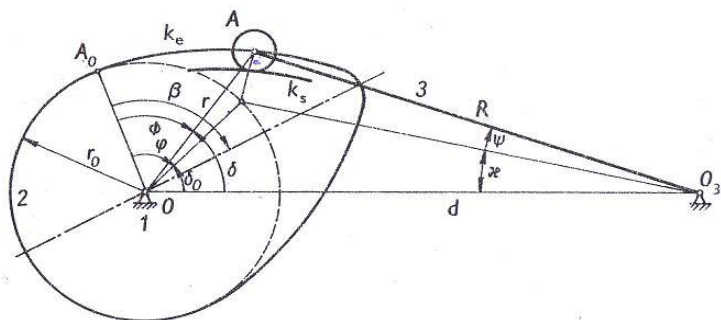
Protože mechanismus byl již vytvořen v elektronické podobě ve firmě Preciosa, byly dodány jednotlivé součásti již vygenerované. Jelikož byly převedené z programu Inventor do programu Pro/Engineer, ve kterém se provede samotná analýza mechanismu, nebylo možné měnit její geometrie z důvodu transformace dat mezi kreslicími programy. Pomocí Pro/Engineeru jsem zjistil, že tato vačka má na svém povrchu nevhodné napojení samotných bodů, které jsou dány pomocí zdvihové rovnice. Inventor a Pro/Engineer jsou konkurenční programy pro parametrické, adaptivní 3D modeláře.



Obrázek 11: Geometrie současné vačky.

Samotné nerovnosti povrchu způsobovaly při simulaci, že vačka odskakovala a neměla vhodné vlastnosti, aby simulace bez problému proběhla a nijak neovlivňovala výsledky. Výsledkem simulace je zjištění síly, která působí na čep, na němž je uloženo celé vahadlo. Jeho vlastností je, že převádí otočný pohyb na pohyb posuvný.

Problém ohledně špatné geometrie vačky byl tedy vyřešen tím, že jsme si spočítali nový teoretický obrys vačky z parametrů, které jsou zadány a také že závislost musí odpovídat $\psi=f(\varphi)$, to určuje zdvihová závislost (viz obrázek 12).



Obrázek 12: Zdvihové závislosti $\psi=f(\varphi)$ [5].

Vztahy pro výpočet geometrie vačky:

- vycházíme z obecných vztahů které vycházejí z obrázku

$$\Rightarrow r_o^2 = R^2 + d^2 - 2Rd \cos \kappa$$

$$R^2 = r_o^2 + d^2 - 2r_o d \cos \delta_o$$

$$r^2 = R^2 + d^2 - 2Rd \cos (\kappa + \psi)$$

$$R^2 = r^2 + d^2 - 2r d \cos \delta$$

$$\delta + \Phi = \delta_o + \varphi$$

- z těchto rovnic postupně plyne

$$\Rightarrow \cos \kappa = \frac{R^2 + d^2 - r_o^2}{2Rd}, \quad \cos \delta_o = \frac{r_o^2 + d^2 - R^2}{2r_o d} \quad (7), (8)$$

$$r = \sqrt{R^2 + d^2 - 2Rd \cos (\kappa + \psi)} \quad (9)$$

$$\cos \delta = \frac{r^2 + d^2 - R^2}{2rd} \quad (10)$$

$$\Phi = \varphi + \delta_o - \delta \quad (11)$$

- musíme si uvědomit že se dá vypočítat úhel ψ ze zdvihu

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{z}{R} \Rightarrow \psi = \operatorname{arctg} \frac{z}{R} \quad (12)$$

Přičemž víme, že hodnoty $r_0 = 68$ mm, $R = 64,5$ mm a $d = 109,37$ mm. Tyto hodnoty jsou dány konstrukcí řešením původního mechanismu (viz obrázek

12). Pomocí uvedených vztahy (7,8,9,10 a 11) byly vypočteny jednotlivé body, kdy se mění geometrie vačky pomocí zdvihové závislosti z . Dostaneme tak pro jeden bod hodnotu r , která představuje vzdálenost středu vačky od středu rolny a jeho úhel Φ , pod kterým je pootočen od středu. Tyto hodnoty se mění, jelikož máme dán krok vačky $\varphi=2^\circ$. Z jednotlivých hodnot poloměru r , se vytvořila křivka, po které se pohybuje při otáčivém pohybu vačky čep rolny upevněné na vahadle. Vačkovým zavazením jsme docílili toho, že se rolna odvaluje po vačce bez toho, aby odskakovala. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v *příloze č. 1 a 2*.

4. Návrhy nových řešení mechanismu – kritéria:

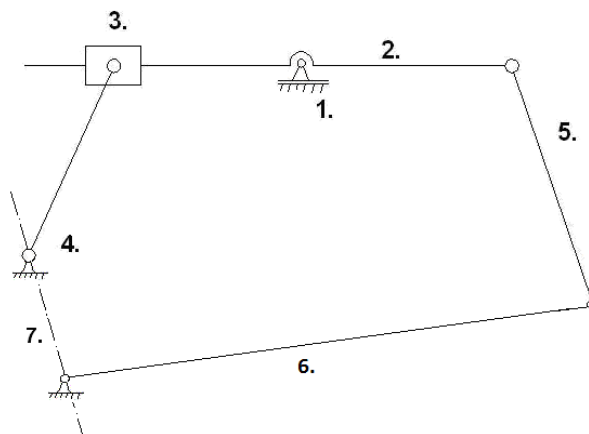
Bylo navrženo pět variant řešení, které by mohly být vhodné pro řešení našeho problému. Mezi základní požadavky patří: rozsah zdvihu stolu od $(10 - 48) \text{ mm}$ a tím pádem rozsah naklonění lisovacího stolu od $2^\circ 11'$ do $10^\circ 32'$, možnost nastavování za chodu, přesně vymezená poloha rolny pod vačkou, potřebná jemnost nastavování zdvihu, zanechání vačky jako hnacího členu na vačkové hřídeli.

Úkolem práce je dodržet cíle práce uvedeny v úvodu. Proto se budeme snažit dodržet i kritéria, které nám zadal zadavatel.

4.1 Popis nových řešení

Varianta A)

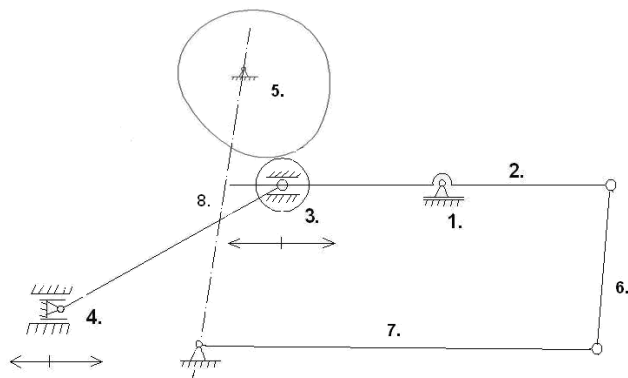
Mezi varianty provedení můžeme zahrnout použití klikového mechanismu pohaněného nezávislým servomotorem. Jedná se variantu čtyřkloubového mechanismu, kdy na vahadle pevně uchyceném k rámu je umístěna klika, kterou lze pohybovat a tak měnit rameno a zároveň samotný zdvih (viz obrázek 13). Potřebnou zdvihovou charakteristiku, kterou tvoří vačka, pomůže docílit servomotor, jehož pohyb můžeme přesně definovat. Aby se usnadnilo vytvoření potřebné zdvihové závislosti, umístíme páku tak, aby spojovala vahadlo a servomotor excentricky. Tuto variantu však nelze použít, protože firma Preciosa a.s. trvá na zanechání původního vačkového hřídele. Za největší nevýhodu můžeme považovat pořizovací cenu samotného mechanismu, tj. především servomotoru. Jelikož mačkadlo je umístěno v prašném a zároveň i na vysoké teploty náročném prostředí, mohlo by navíc docházet k ničení servomotoru.



Obrázek 13: Klikový mechanismu, varianta A), 1- úložný kloub, 2- vahadlo, 3- posuvný kloub, 4- klika od servomotoru, 5- vidlice, 6- stůl lisovacího mechanismu, 7- vačková hřídel.

Varianta B)

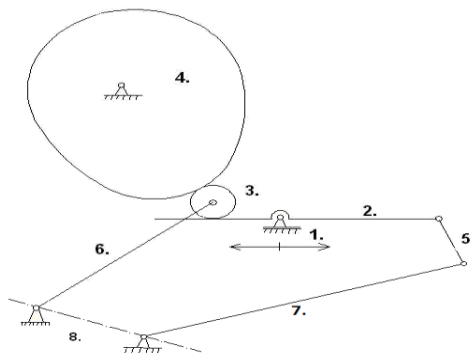
Toto řešení spočívá v tom, že rolna je umístěna mimo vahadlo a je samostatně připevněna na rám stroje (viz obrázek 14). Na stroji je umístěna posuvně v rotačním kloubu, jehož polohu lze měnit podle toho, jak potřebujeme. Pohyb rolny docílujeme stejným způsobem jako na původním mechanismu a to pomocí kličky, která je spojena se šroubem M12. To znamená že, na jedno otočení kličky se rolna posune o rozteč $p=1,75 \text{ mm}$. Ve vahadle je rolna upevněna pomocí čepu, který je v drážce, v níž se může pohybovat. Rolna je spojena s čepem otočně přes ložisko tak, aby se mohla libovolně otáčet. Úložný čep je umístěn na pevně a nemění svou polohu. Změnou polohy rolny měníme potřebný zdvih mechanismu. Toto řešení má ale dvě nevýhody. První je, že samotné posunutí rolny je omezeno šířkou vačky a tím je omezen rozsah nastavování zdvihu. Z důvodu požadavku zadavatele je nevýhodné, že poloha rolny musí být stálá a neměla by měnit svoji polohu vůči vačce. Změnou polohy vačky nedokážeme efektivně a hlavně přesně docílit potřebného zdvihu mechanismu.



Obrázek 14: Nové řešení, varianta B), 1- úložný kloub, 2- vahadlo, 3- rolna, 4- uložení posuvného kloubu ramena, 5- vačka, 6- vidlice (spojení s rámem lisovacího mechanismu), 7- rám lisovacího mechanismu, 8- vačková hřídel.

Varianta C)

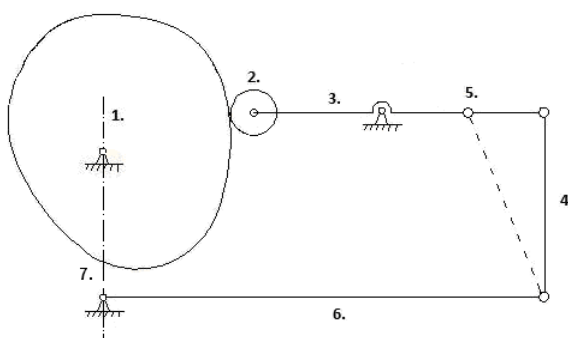
Jedná se o variantu řešení, podobná variantě B, ale zde rolna není součástí vahadla. Je umístěna na stejném rámu jako vahadlo. Poloha rolny musí být v přesně definovaném místě pod vačkou, aby se docílilo požadované charakteristiky zdvihu. Změnou polohy čepu měníme poměr ramen a tím i zdvih na konci vahadla (viz obrázek 15). Hlavním problémem při řešení je to, že navržení ramena vahadla by bylo složité. Rameno totiž musí vymezovat polohu rolny pod vačkou a zároveň se musí pohybovat po dané kružnici, kterou rolna opisuje. Mezi další problémy můžeme zařadit i to, že by zde vznikl bodový styk mezi vahadlem a rolnou. Jelikož se rolna otáčí a poskakuje z důvodů rázů vzniklých pohybem vačky, postupem času by se rameno obrušovalo natolik, že by se měnil i zdvih lisovacího mechanismu, což je nežádoucí.



Obrázek 15: Mechanismus s rolnou uloženou mimo vahadlo, varianta C), 1- úložný kloub, 2- vahadlo, 3- rolna, 4- vačka, 5- vidlice, 6- rameno rolny, 7- rám lisovacího mechanismu, 8- vačková hřídel.

Varianta D)

V této variantě docílíme potřebného zdvihu posunem členu 5 a to v rozmezí od 10 mm do 48 mm. Jelikož charakteristika vačky přesně určuje počáteční zdvih, který je 16 mm, čep bude umístěn do místa, kde máme v koncové poloze vahadla maximální zdvih 48 mm. Je důležité, aby byl čep pevně uchycen a jeho poloha od rolny byla konstantní (viz obrázek 16). Pohybu členu 5 je docíleno kuličkovým šroubem, který dokáže přesně vymeziť polohu na vahadle. Jeden z problémů tohoto řešení je, že vahadlo se neustále pohybuje (vykyvuje) a bylo by obtížné docílit nastavení zdvihu za chodu, což je jeden z požadavků zadavatele. Problémem, a to zřejmě rozhodujícím, je, že zde vzniká příliš velký úhel mezi vahadlem a spojením při maximální poloze uložení a tím nedodržení potřebného transformačního úhlu. V důsledku toho vznikají síly, které jsou enormně velké a neřeší problém s větším opotřebením čepu, resp. s jeho častější výměnou. Je zde i velké rozmezí pro nastavování zdvihu, které nedokážeme ovlivnit ani změnou jemnosti nastavovacího šroubu.

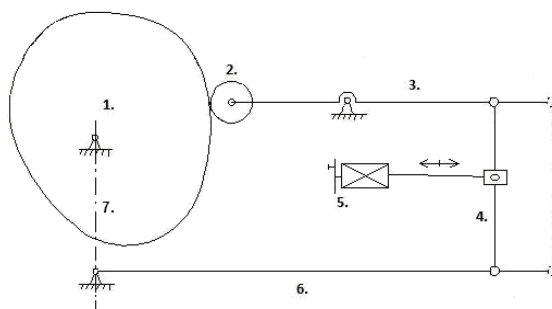


Obrázek 16: Schéma varianty D), 1- vačka, 2- rolna, 3- vahadlo, 4- vidlice, 5- posuvný člen s kuličkovým šroubem, 6- rám lisovacího mechanismu, 7- vačková hřídel.

Varianta E)

Varianta E) je podobnou variantou řešení jako varianta D). Změnou polohy členu 4 (vidlice) docílujeme potřebného zdvihu. Nepohybujeme pouze jedním členem, ale celým spojením, které je mezi vahadlem a samotným stolem mechanismu (viz obrázek 17). Musíme ale zajistit polohu nastavovacího šroubu na vidlici tak, že na vidlici zanecháme nastavovací šroub tak, abychom mohli jemně nastavit samotný zdvih mechanismu. Za výhody tohoto řešení můžeme po-

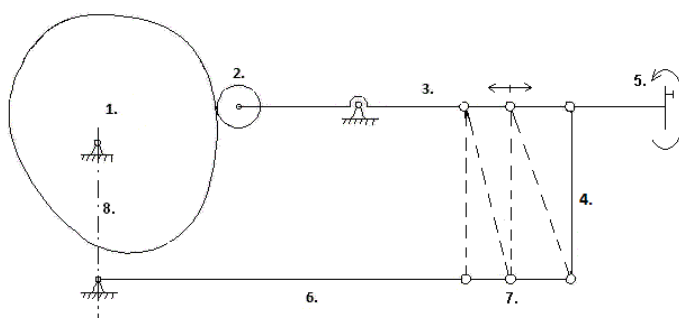
važovat pevně uložený čep vahadla a konstantní vzdálenost od rolny. Dále též i to, že poloha rolny je přesně definovaná pod vačkou. Pomocí natáčecího ložiska bude na spojení připojeno rameno, které s ním bude pomocí kličky přes převod pohybovat. Nevýhodou je však potřebná příliš dlouhá vzdálenost posunu vidlice na vahadle. Zásadní nevýhodou, proč nelze tuto variantu použít, že spojení vidlice na vahadle se v minimálním zdvihu $z=10\text{mm}$ nachází příliš blízko čepu, resp. do něj naráží a může dojít k jeho deformaci.



Obrázek 17: Schéma varianty E), 1- vačka, 2- rolna, 3- vahadlo, 4- vidlice (člen mezi vahadlem a stolem), 5- šroub s kličkou, 6- rám lisovacího mechanismu, 7- vačková hřídel.

4.2 Popis vybraného řešení:

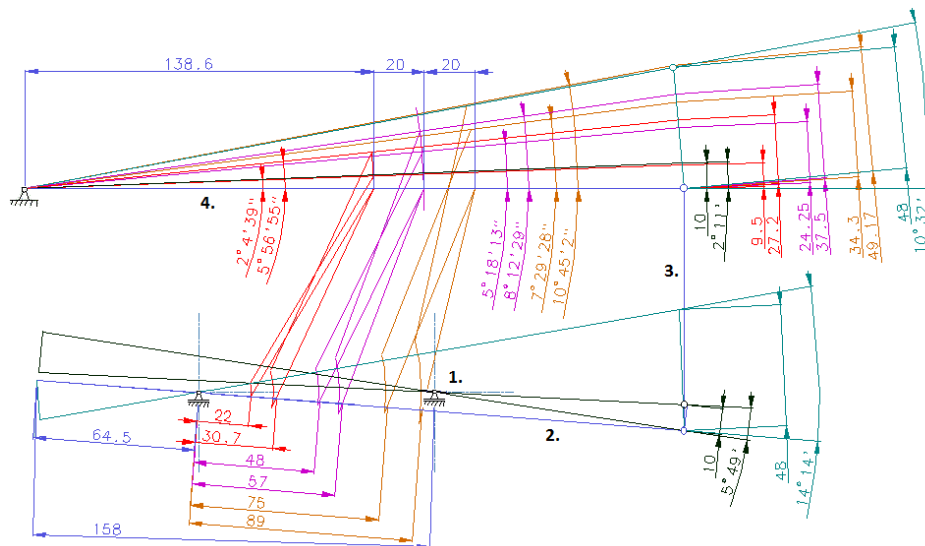
Jako konečná varianta byla vybrána upravená varianta E), a to v části nastavování. Po dohodě se zadavatelem bylo možno využít toho, že jsme samotnou vidlici umístili do tří poloh a nastavovali pouze kámen, který je umístěn ve vahadle (viz obrázek 18). Bylo docíleno toho, že jednotlivé polohy zdvihu a stolu se překrývají (viz tabulka 3).



Obrázek 18: Upravená varianta E) zdvihového mechanismu, 1- vačka, 2- rolna, 3- vahadlo, 4- vidlice, 5- nastavovací šroub s kličkou, 6- rám lisovacího mechanismu, 7- jednotlivé polohy na vedení, 8- vačková hřídel.

Byla provedena úprava samotného spojení mezi vidlicí a stolem pomocí vedení. Jednoduchého vedení je uloženo mezi domečkem, který je otočně uložen na vačkové hřídeli, a kleštinovým upínáním (drží jednu raznici v pevné poloze). Bylo využito vedení z katalogu firmy Misumi, který nám usnadní samotnou konstrukci mechanismu, jelikož jde o normalizovaný díl a nemusíme se tedy zabývat jeho výrobou. Na tomto vedení jsou vymezeny tři polohy, mezi kterými lze vidlici zajistit šroubem do požadované polohy. Konstrukce vidlice se nemění a tím vyhovuje požadavkům jemného nastavení výšky zdvihu pomocí otočného šroubu. Šroub má použit levý a pravý závit na svých koncích. Došlo ke konstrukční úpravě tvaru vahadla tak, aby mohl být čep pevně uložen. Tím bylo dosaženo jeho vyšší odolnosti proti opotřebení a tím nebude docházet k jeho výměně. Bylo zde použito stejné řešení posuvu kamene jako u původního řešení a to pomocí vedení vytvořeného ve vahadle. Na kameni je čep, který spojuje kámen s vidlicí a zároveň se posouvá pomocí závitové tyče s kličkou. Otáčením kličky dokážeme měnit polohu kamene na vahadle a docílit tak potřebného zdvihu lisovacího stolu. Samotný posun kamene určuje velikost rozteče závitů na nastavovacím šroubu, který je normalizován. Po dohodě se zadavatelem bylo stanoveno to, že celkový zdvih může být složen ze tří poloh.

Zjištění poloh, které překrývají rozmezí zdvihů a tím pádem naklonění stolu byl nalezen pomocí 2D analýzy v programu Varicad. Varicad je 2D/3D CAD aplikace určená primárně pro navrhování strojních součástí. Byl proveden rozbor pohybu mechanismu u původního řešení a zjištěno, jak se pohybuje. Podle daných kritérií, jehož hlavním parametrem bylo naklonění stolu od $2^{\circ}11'$ do $10^{\circ}32'$, byly nalezeny tři polohy na vedení, kde se bude vidlice pevně aretovat, a pomocí posuvu kamene ve vahadle se bude měnit zdvih mechanismu (viz obrázek 19). Polohy vidlice jsou přesně definovány a musí se dodržet jejich přesné umístění ve vedení, aby hodnoty zdvihu odpovídaly skutečnosti.



Obrázek 19: 2D analýza zdvihu mechanismu provedena ve Varicadu, 1- posuvný čep, 2- vahadlo, 3- vidlice, 4- rám lisovacího stoje (kolejnice).

Jednotlivé hodnoty zdvihů, posuvů a naklonění stolu a uložení na vedení byly seřazeny do *tabulky 3* a rozděleny do tří poloh podle toho, v jaké poloze bude vidlice umístěna na vedení od firmy *Misumi* [6].

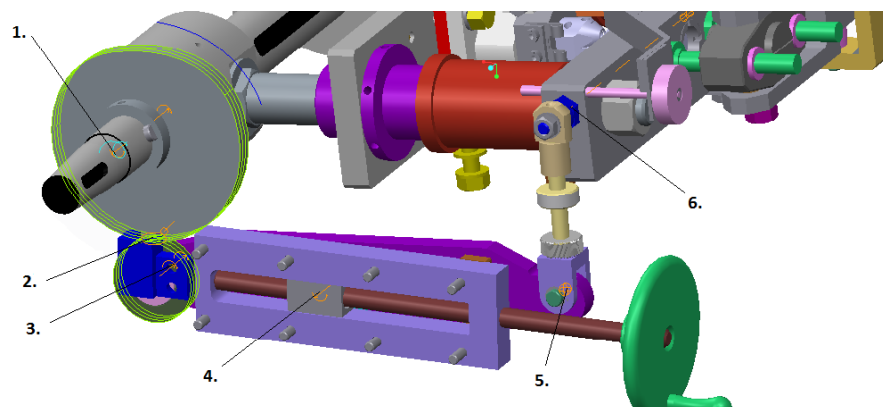
Tabulka 3: Polohy na vedení KSRLCST16 (rozmezí zdvihů, naklonění úhlů stolu, poloha vidlice, viz obrázek 19).

	Poloha na vedení Misumi KSRLCST16		
	poloha 1	poloha 2	poloha 3
Vzdálenost čepu kluzné prvku od osy vačkové hřídele [mm]	138,5	158,5	178,5
Vzdálenost čepu vidlice v posuv. kameni od čepu vahadla [mm]	22-30,7	48-57	75-89
Rozmezí posuvu kamene ve vahadle [mm]	8,7	9,0	14,0
Zdvihy v jednotlivých polohách [mm]	9,5-27,2	24,3-37,5	34,3-49,2
Rozmezí zdvihů v jednotlivých polohách [mm]	17,7	13,2	14,9
Velikost úhlů naklonění vedení Misumi [°]	2°4'-5°56'	5°18'-8°12'	7°29'-10°45'
Rozsah úhlů naklonění vedení Misumi [°]	3°52'	2°54'	3°16'

4.3 Pevnostní a silová analýza nového řešení:

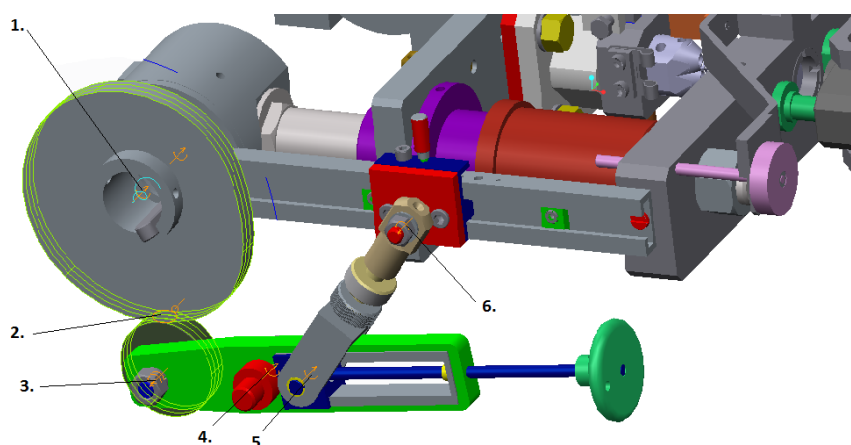
Pevnostní analýzu jsme provedli opět v programu Pro/Engineer a jeho prostředí Mechanism. Jednotlivé upravené díly jako nové vahadlo, vidlice a vedení jsme museli znovu zavazbit a správně k sobě uchytit tak, aby se mohla celá sestava mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla pohybovat a vykonávala správný pohyb podle toho, jak se nám podařilo zjistit pomocí 2D analýzy pohybu v programu Varicad. Pomocí funkce Measure byli naměřeny hodnoty sil a

momentů působících na mechanismus. Jednalo se hlavně o místo, kde docházelo u původního řešení k deformaci posuvného čepu (viz obrázek 20).



Obrázek 20: Síly a momenty působící na původní mechanismus, 1- moment otáčející vačkovou hřídelí, 2- síla působící mezi rolnou a vačkou, 3- síla působící na čep rolny, 4- síla a moment působící na posuvný čep vahadla, 5- síla působící na čep vidlice ve vahadle, 6- síla působící na uložení vidlice v lisovacím stole.

Dalšími místy měření byla spojení jednotlivých částí mechanismu, kde dochází k přenosu sil z jedné součásti na druhou. Byla to čep na vidlici a také na vedení Misumi. Jelikož byl mechanismus zdvihu mačkadla změněn, nebylo možné docílit toho, aby se dokázalo měřit přímo na stejných místech, kde působily původní síly (viz obrázek 21). Tyto naměřené hodnoty sil se ale dají porovnat, protože mechanismus koná stejný pohyb, jen v jiném konstrukčním řešení. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

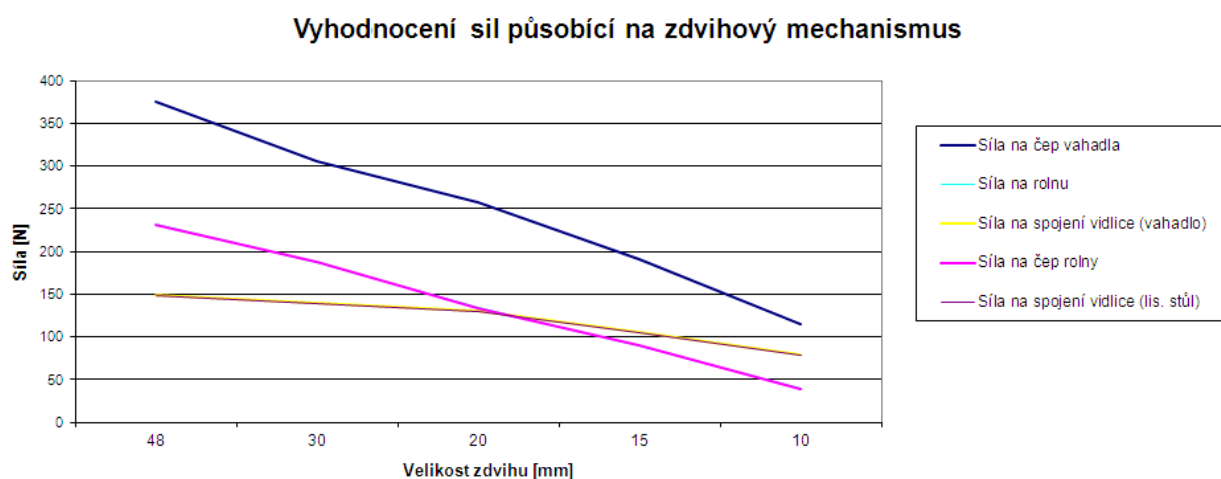


Obrázek 21: Síly a momenty působící na nové řešení mechanismu zdvihu, 1- moment otáčející vačkovou hřídelí, 2- síla působící mezi rolnou a vačkou, 3- síla působící na čep rolny, 4- síla a moment působící na posuvný čep vahadla, 5- síla působící na čep vidlice ve vahadle, 6- síla působící na uložení vidlice v lisovacím stole.

Tabulka 4: Silový rozbor nového řešení mechanismu zdvihu.

Síly a momenty	Nové řešení mechanismu		
	Max. poloha ($Z_{max}=48\text{ mm}$)	Střední poloha	Min. poloha ($Z_{min}=10\text{ mm}$)
Síla na čep vahadla (radiální) [N]	374,568	256,908	114,538
Moment na čep vahadla [Nmm]	3485,51	1806,06	490,229
Síla na čep rolny (radiální) [N]	230,457	132,874	38,8674
Síla posuvny kamen (vahadlo, radiální) [N]	149,885	130,934	79,4072
Síla na spojení vidlice (lis. stůl, vedení radiální) [N]	148,483	130,035	79,0373
Síla na rolnu [N]	231,23	133,639	39,6284

Stejně jako naměřených sil v původním řešení, pro lepší vyhodnocení jsou tyto síly na novém řešení mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla uvedeny v grafu 3.



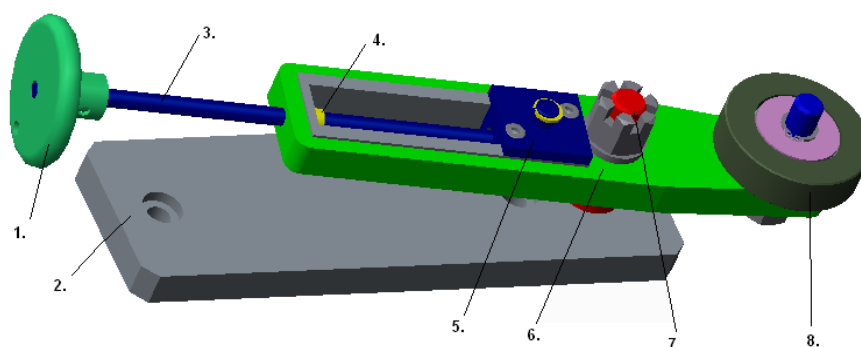
Graf 3: Síly na novém konstrukčním řešení mechanismu zdvihu.

4.4. Popis upravených součástí

Provedli jsme zde tři velké úpravy zdvihového mechanismu, a to na dílech: vahadlo, nastavování na vahadle a uložení vidlice ke stolu (kleštinovému upínači).

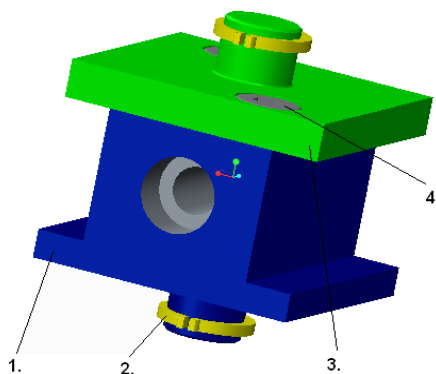
Změnili jsme velikost a tvar vahadla, jelikož drážka pro kámen kde se pohybovala, nemusela být tak masivní a dlouhá (viz obrázek 22) Je využita podobná konstrukce drážky, jako byla využita k posouvání čepu, protože je velmi funkční a kámen se zde může dobře pohybovat. Jeho poloha je vymezena drážkou ve

vahadle. Otočný čep je pevně umístěn ve vahadle a nedochází k jeho opotřebení. Stálou polohou čepu jsme docílili, že i samotná rolna leží v konstantní poloze vůči vačce a tím bylo splněno další kritérium zadavatele. Můžeme tedy zde vynechat vedení, které nám pomáhá držet rolnu v požadované pozici pod vačkou. V samotném vahadle je umístěna závitová tyč, která nám pomáhá regulovat posuv kamene v drážce. Bylo zde nutné i vyřešit to, aby se závitová tyč působením otáčení nevysunula ze samotné drážky ve vahadle. To je řešeno matkou, která je pevně umístěna pomocí kolíku na nastavovací tyči. Tvar vahadla se bude řídit podle výrobního výkresu.



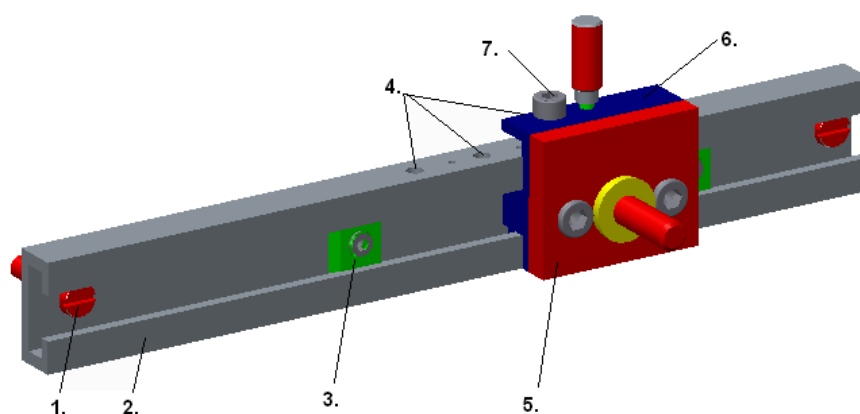
Obrázek 22: Upravené vahadlo zdvihového mechanismu s posuvným kamenem, 1- klička, 2- základová deska, 3- závitová tyč, 4- matice, 5- posuvný kámen, 6- vahadlo, 7- pevný čep, 8- rolna.

Nastavovací kámen (viz obrázek 23), je navržen obdobně jako posuvný čep u původního řešení. Je složen ze dvou částí pevně spojených pomocí šroubů, aby jeho montáž byla ulehčena. Na každé z těchto částí bude vyfrézován čep, ke kterému se připevní samotná vidlice propojující vahadlo s vedením a to pomocí svorek. Jelikož se čep pohybuje pouze ve vodorovném směru, nemusíme zde použít složitější upevnění vidlice například pomocí matice nebo šroubu. V samotném kamenu je vysoustružena díra se závitem $M6$, který nám určuje potřebný posuv vahadla podle rozteče šroubu $p=1\text{ mm}$. Na jednu otáčku se tedy kámen posune o 1 mm . Jelikož jsme museli zajistit samotný šroub pomocí matice, na kameni se vysoustruží potřebný otvor tak, aby se matice schovala do kamene a velikost vahadla nemusela být delší o šířku matice. Toto řešení nám zmenší váhu vahadla a tím i sílu, který působí na čep. Jednotlivé díly, ze kterých je složen nastavovací kámen, budou součástí výkresové dokumentace.



Obrázek 23: Konstrukce nastavovacího kamene uloženého ve vahadle, 1- vodící kámen, 2- pojistný kroužek, 3- víko vodícího kamenu, 4- spojovací šroub.

Vidlici, která spojuje vahadlo s novým vedením, bude připojena na vedení pomocí čepu umístěném na pojezdu vedení (viz obrázek 24). Tento pojezd bude mít tři polohy, kde se pomocí klíčky bude moci rychle zajistit. Pomocí šroubu pevně uchytíme na kolejnici kluzný prvek tak, aby se nemohl pohybovat. Toto vedení je normalizované a použijeme typ: *KSRLCST16* o délce 270 mm z katalogu *Misumi* [5]. Samotné uchycení vedení bude provedeno na otočný domeček, který leží na vačkové hřídeli a spojuje vodící tyčí lisovací mechanismus s kleštinovým upínačem. Mezi domečkem a upínačem, který drží jednu z raznic, bude vedení uchyceno pomocí šroubu *M6x30*. Samotná kolejnice bude mít v sobě zářku, která nám pomůže ve vymezení polohy a zároveň i s tím aby se pojezd nevysunul z vedení.

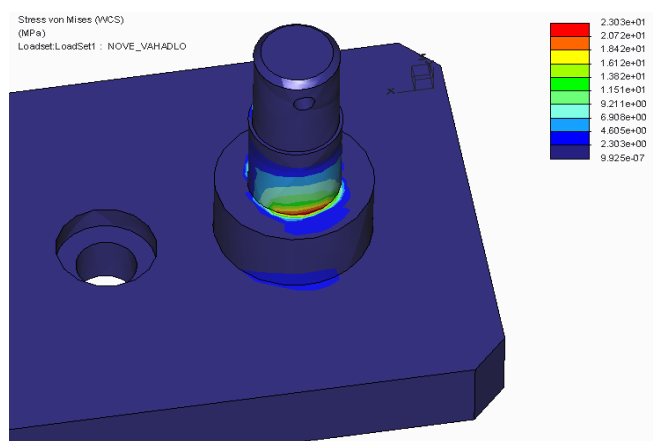


Obrázek 24: Konstrukce a uchycení vedení (kolejnice) [5], 1- upevňující šroub vedení, 2- vedení, 3- zářka, 4- jednotlivé díry pro pevné uchycení kluzného prvku, 5- čep vedení, 6- kluzný prvek.

4.5. Vyhodnocení nového řešení s původního mechanismu pro zdvih univerzálního mačkadla

Podařilo se tedy přijít na variantu řešení, která vyhovuje všem požadavkům a cílům práce. Šlo hlavně o posuvný čep, na kterém ležela celá váha mechanismu, a byl nejvíce namáhanou součástí zdvihového mechanismu. Změnou uložení vahadla na čep, který je pevně uchycen na základovou desku, jsme odstranili tento problém a zároveň jsme vyhověli i dalšímu požadavku, aby rolna byla v přesně vymezené pozici pod vačkou.

Problém, který se nám při té konstrukci objevil, je že pevně uložený čep je namáhán ohybovým momentem vzniklým otáčením vahadla (viz obrázek 25).



Obrázek 25: Namáhání čepu nového řešení.

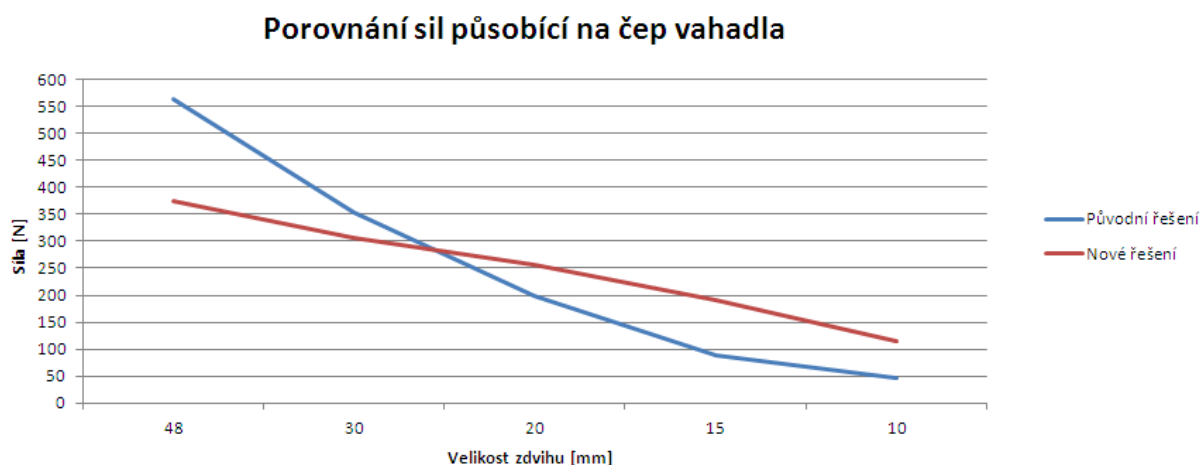
Napětí změřené pomocí simulace v programu Pro/Enginner je 23 MPa a ohybový moment $M_0=3,485 \text{ Nm}$. Tyto hodnoty bereme jako výchozí pro výpočet minimálního průměru čepu. Jelikož je čep nalisován do rámu, jeho minimální velikost průměru byla zvolena 13 mm a hodnota spočtena z ohybového momentu je menší, nemělo by dojít k jeho deformaci.

Výpočet minimálního průměru čepu:

$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = \frac{M_0 \cdot 32}{\pi \cdot d^3} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot \sigma_0}} \quad [3], (13)$$
$$\Rightarrow (13), \quad d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3.485}{\pi \cdot 23 \cdot 10^6}} = 0,011 \text{ m} \Rightarrow \underline{d_{\min} = 11 \text{ mm}}$$

V předchozí konstrukci byl posuvný čep upevněn masivněji ve vedení, které bylo na základové desce a zároveň držen závitovou tyčí, která nám pomáhala pohybovat čepem. Hodnoty momentů působící na čep jsou uvedeny v *tabulce 5*. Čep a jeho výroba se odvíjí od výrobního výkresu.

Byly naměřeny hodnoty sil a momentů, které působily na čep u původního a nynějšího řešení a jejich hodnota se zmenšila (*viz tabulka 5*). Čep je určitě namáhán méně, jelikož samotná konstrukce byla odlehčena. Působící síla byla největší při největším zdvihu $z_{max}=48\text{ mm}$ a jeho hodnota se zmenšila o 34 %. Byla provedena měření dále v poloze nejmenšího zdvihu $z_{min}=10\text{ mm}$, kde samotná hodnota síly je větší, ale její hodnota je úměrná zatížení čepu a její velikost by nijak zvlášť neměla ničit čep. Pro lepší vyhodnocení a srovnání působení sil jsme tato měření provedli i ve střední hodnotě zdvihu tak, abychom se dozvěděli, jaké síly zde působí hlavně v nové variantě řešení, a to v druhé poloze na vedení (*viz tabulka 5*). Změnou konstrukce se podařilo také docílit, že při stejném krouticím momentu od vačkové hřídele působí na rolnu menší síla od vačky při největším zdvihu $z=48\text{ mm}$. To má za důsledek i zmenšení síly působící na čep, v kterém je rolna pomocí ložiska uložena. Došlo zde ale k podobnému zvýšení sil u zbývajících dvou měřených poloh zdvihů. Ale jako u předchozích naměřených sil by neměl mít vzestup síly zásadní vliv na konstrukci a namáhání celé soustavy mechanismu. Jednotlivé hodnoty sil jsou uvedeny v (*tabulce 5*.)



Graf 4: Porovnání sil působící na čep vahadla.

Jelikož byla změněna i konstrukce vidlice a jejího uložení, byly změřeny i síly, působící na vedení a samotnou vidlici, která propojuje vahadlo s vedením uloženým na lisovacím stole mačkadla. Jedná se o čep na posuvném kameni,

který je umístěn ve vahadle, kterým změnou polohy měníme i zdvih stolu. Na tomto čepu je uložena vidlice. V kameni je vysoustružen závit a přes závitovou tyč uloženou ve vahadle dokážeme pohybovat kamenem. Hodnotu naměřenou na čepu lze porovnávat s hodnotou síly působící na původním mechanismu na konci vahadla. Další místo, kde byly síly naměřeny, bylo na čepu vedení od firmy *Misumi*. Na toto vedení je upevněna pomocí šroubu destička s čepem, kam je vidlice uchycena a zajištěna šroubem. Síly na tento čep byly porovnány se silami působícími na čep uložený pevně v lisovacím stole. Hodnoty naměřené na čepu na vedení jsou uvedeny v *tabulce 5*. Bohužel, síla, která působí na čep, je větší než u původního řešení, ale její hodnota by neměla nijak ovlivnit samotnou pevnost konstrukce. Čep je dostatečně upevněn pomocí šroubu k vedení a jeho průměr dostatečný, aby nedocházelo k jeho ničení. Výhodou je, že samotný čep se může rychle odmontovat a znovu vyměnit, pokud by docházelo k jeho poškození.

Samotná konstrukce nového řešení vyhovuje všem požadavkům a kritériím zadavatele až na nastavování zdvihu za chodu. Konstrukce nastavování za chodu je jedna z úloh, která nebyla zhotovena, jelikož konstrukce páky spojující s nezávisle uloženým vedením je složitá a překračuje rámec této bakalářské práce. Jinak naměřené hodnoty sil a momentů působících na zdvih jsou menší než u původního řešení a tak vyhovují požadavkům. Jednotlivé síly a momenty působící na univerzální mačkadlo mohou být v reálném provozu částečně odlišné díky působením vnějších vlivů jako je teplo, prach, vibrace.

Tabulka 5: Vyhodnocení sil a momentů působících na původním a novém řešení mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla.

Maximální zdvih stolu ($z_{\max} = 48 \text{ mm}$)	Původní řešení	Nové řešení	
	Maximální zdvih ($z_{\max} = 48 \text{ mm}$)		Vyhodnocení[%]
Síla na čep vahadla (radiální) [N]	564,56	374,568	33,65, pokles
Ohybový moment na čep vahadla [Nmm]	560,54	3485,51	83,92, vzestup
Síla na čep rolny (radiální) [N]	425,65	230,457	45,86, pokles
Síla na spojení vidlice (vahadlo) [N]	136,44	149,885	8,97, vzestup
Síla na spojení vidlice (stůl, radiální) [N]	132,89	148,483	10,50, vzestup
Síla na rolnu [N]	426,42	231,23	45,77, pokles

Střední zdvih stolu	Původní řešení	Nové řešení	
	Střední poloha zdvihu		Vyhodnocení[%]
Síla na čep vahadla (radiální) [N]	141,063	256,908	44,09, vzestup
Ohybový moment na čep vahadla [Nmm]	484,562	1806,06	73,16, vzestup
Síla na čep rolny (radiální) [N]	81,42	132,874	38,72, vzestup
Síla na spojení vidlice (vahadlo) [N]	59,359	130,934	54,66, vzestup
Síla na spojení vidlice (stůl, radiální) [N]	57,817	130,035	55,54, vzestup
Síla na rolnu [N]	82,183	231,23	38,50, vzestup

Minimální zdvih stolu ($z_{min}=10$ mm)	Původní řešení	Nové řešení	
	Minimální zdvih ($z_{min}=10$ mm)		Vyhodnocení[%]
Síla na čep vahadla (radiální) [N]	46,36	114,538	33,65, vzestup
Ohybový moment na čep vahadla [Nmm]	266,17	490,229	83,92, vzestup
Síla na čep rolny (radiální) [N]	19,1	38,8674	45,86, vzestup
Síla na spojení vidlice (vahadlo) [N]	27,989	79,4072	8,97, vzestup
Síla na spojení vidlice (stůl, radiální) [N]	27,263	79,0373	10,50, vzestup
Síla na rolnu [N]	19,779	39,6284	45,77, vzestup

5. Závěr

V bakalářské práci byla provedena inovace zdvihového mechanismu univerzálního mačkadla na sklo. Jedná se hlavně o inovaci posuvného čepu, který mění zdvihovou závislost lisovacího stolu mačkadla. Tento čep byl ničen z důvodu působení reakčních sil způsobených pohybem vahadla (mechanismu zdvihu) a také váhou stroje, který tento čep musel držet. Dochází tedy k jeho časté výměně a tím i zastavování celého stroje. To je pro zadavatele nežádoucí stav, který chce změnit. Inovaci jsme provedli pomocí odlehčení zdvihového mechanismu od zbytečných součástí, které svou vahou zbytečně zatěžovaly čep. Celý zdvihový mechanismus byl zjednodušen tak, aby konstrukce nebyla složitá na výrobu a následně samotnou montáž.

U původního zdvihového mechanismu mačkadla byla úspěšně provedena nejprve kinematická analýza mechanismu. Byly naměřeny hodnoty sil v důležitých místech mechanismu. Ty byly následně porovnávány s hodnotami sil u nového návrhu řešení zdvihového mechanismu.

Nová varianta zdvihového mechanismu byla vybrána z pěti možných návrhů variant. Po prozkoumání a zhodnocení variant s přihlédnutím na požadavky zadavatele byla vybrána nejvhodnější varianta. Nové řešení bylo následně konstrukčně zpracováno a byla provedena pevnostní analýza vybraných částí. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny a následně porovnány s původním řešením.

Bylo docíleno toho, že při největším zdvihu se samotná síla na čep snížila o necelých 34 %. Síly, které působí na mechanismus, nebyly ve všech polohách zdvihu mechanismu zmenšeny. Jejich působení je ale rovnoměrnější než u původního provedení a tím nedochází k tomu, že se síly dostanou do maxima působení jako u původního řešení, kde byl čep ničen.

Tímto návrhem jsme docílili ekonomičtějšího řešení z důvodu použití normalizovaného vedení, odlehčení, zjednodušení některých dílů a zároveň i funkčnějšího konstrukčního zhotovení mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla, jelikož nebude docházet k ničení součástí.

6. Seznam použité literatury

- [1] HOTAŘ, V. *Úvod do výroby komponent skleněné bižuterie*. TU v Liberci, 2009 str. 99.
- [2] CHARVÁT, J. *Mechanika II - Teorie mechanismů-vybrané statě*. Fakulta strojní, 1990.
- [3] PEŠÍK, L. *Části strojů 1. a 2. díl*. Liberci: skripta TU v Liberci, 2010.
- [4] BRÁT, V., J. ROSENBERG a V. JÁČ. *Kinematika*. Praha: SNTL/Alfa, 1987. str. 238.
- [5] KOLOC, Z a M. VÁCLAVÍK. *Vačkové mechanismy*. Praha: SNTL/Alfa, 1988. str. 16.
- [6] MISUMI. *Katalog firmy Misumi 1. Díl. Mechanických součástí pro automatizaci výroby*. 2012/2013, str. 615.
- BELDA, Jaroslav. *Sklářské a keramické stoje I*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1991.

7. Seznam obrázků, tabulek

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Schéma mačkadla a vačkového uložení.....	12
Obrázek 2: Schéma lisovacího mechanismu	13
Obrázek 3: Schéma krokového mechanismu.....	14
Obrázek 4: Současný mechanismus (vybraná část mechanismu).....	15
Obrázek 5: Vyjádřené vazby pomocí Pro/Engineeru.....	16
Obrázek 6: Schéma vazeb pro určení stupňů volnosti	17
Obrázek 7: Schéma změny ramena vahadla	17
Obrázek 8: Úhel naklonění stolu	18
Obrázek 9: Síly a momenty působící na původní mechanismus.....	20
Obrázek 10: Příklady vaček	22
Obrázek 11: Geometrie současné vačky	22

Obrázek 12: Zdvihové závislosti $\psi=f(\varphi)$ [3],	23
Obrázek 13: Nové řešení, varianta A)	26
Obrázek 14: Nové řešení, varianta B)	27
Obrázek 15: Nové řešení, varianta C)	27
Obrázek 16: Nové řešení, varianta D)	28
Obrázek 17: Nové řešení, varianta E)	29
Obrázek 18: Upravená varianta E) zdvihového mechanismu	29
Obrázek 19: 2D analýza zdvihu mechanismu provedena ve Varicadu	31
Obrázek 20: Síly a momenty působící na původní mechanismus	32
Obrázek 21: Síly a momenty působící na nové řešení mechanismu zdvihu	32
Obrázek 22: Upravené vahadlo zdv. mechanismu s posuvným kamenem	34
Obrázek 23: Konstrukce nastavovacího kamene uloženého ve vahadle	35
Obrázek 24: Konstrukce nastavovacího kamene uloženého ve vahadle	35
Obrázek 25: Namáhání čepu nového řešení	36

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Spočtených hodnot zdvihu při změně ramena	17
Tabulka 2: Souhrn sil a momentů působících na původní zdv. mechanismus ..	20
Tabulka 3: Polohy na vedení KSRLCST16	31
Tabulka 4: Silový rozbor nového řešení mechanismu zdvihu	33
Tabulka 5: Vyhodnocení sil a momentů působících na původním a novém řeše- ní mechanismu zdvihu univerzálního mačkadla	38

Seznam grafů:

Graf 1: Zdvih univerzálního mačkadla	18
Graf 2: Souhrn sil působících na původní mechanismus	21
Graf 3: Síly na novém konstrukčním řešení mechanismu zdvihu	33
Graf 4: Porovnání sil působících na čep vahadla	37

Příloha 1

Tabulka výpočtu obrysu vačky – stoupání z kostního poloměru $R=52$ mm do konstantního poloměru (viz výrobní výkres krokové vačky).

φ [°]	r [mm]	Ψ [°] (12)	r [mm] (9)	$\cos \delta$ [°] (10)	δ [°]	Φ [°] (11)
0,00	52,00	0,0000000000	72,138	0,82419848	0,679145503	0,47
2,00	52,01	0,0000956234	72,144	0,824184968	0,67915542	1,53
4,00	52,02	0,0003823462	72,162	0,824144491	0,67918513	3,53
6,00	52,06	0,0008597261	72,191	0,824077222	0,679234501	5,52
8,00	52,10	0,0015270263	72,233	0,823983449	0,67930332	7,52
10,00	52,15	0,0023832165	72,286	0,823863574	0,679391287	9,51
12,00	52,22	0,0034269732	72,351	0,823718107	0,679498019	11,51
14,00	52,30	0,0046566812	72,427	0,823547668	0,679623057	13,50
16,00	52,39	0,0060704350	72,515	0,823352978	0,679765861	15,49
18,00	52,49	0,0076660407	72,614	0,823134861	0,679925819	17,48
20,00	52,61	0,0094410178	72,724	0,822894231	0,680102248	19,47
22,00	52,73	0,0113926018	72,845	0,822632094	0,680294402	21,46
24,00	52,87	0,0135177472	72,977	0,822349538	0,680501471	23,45
26,00	53,02	0,0158131306	73,120	0,822047728	0,68072259	25,44
28,00	53,18	0,0182751541	73,274	0,821727897	0,680956845	27,42
30,00	53,35	0,0208999502	73,437	0,821391342	0,681203273	29,41
32,00	53,53	0,0236833856	73,611	0,821039412	0,681460877	31,40
34,00	53,72	0,0266210670	73,795	0,820673504	0,681728623	33,38
36,00	53,92	0,0297083464	73,988	0,820295053	0,682005451	35,36
38,00	54,13	0,0329403276	74,190	0,819905521	0,682290282	37,35
40,00	54,34	0,0363118730	74,401	0,819506394	0,682582022	39,33
42,00	54,57	0,0398176110	74,621	0,819099169	0,682879569	41,31
44,00	54,80	0,0434519444	74,849	0,818685346	0,683181821	43,30
46,00	55,05	0,0472090585	75,085	0,818266421	0,683487681	45,28
48,00	55,30	0,0510829311	75,329	0,817843876	0,683796062	47,26
50,00	55,56	0,0550673420	75,580	0,817419171	0,684105896	49,24
52,00	55,82	0,0591558838	75,838	0,816993737	0,684416138	51,23
54,00	56,09	0,0633419729	76,102	0,816568969	0,684725771	53,21
56,00	56,37	0,0676188616	76,372	0,816146216	0,685033812	55,19
58,00	56,65	0,0719796499	76,648	0,815726778	0,685339318	57,17
60,00	56,94	0,0764172988	76,928	0,815311895	0,685641386	59,16
62,00	57,23	0,0809246433	77,214	0,814902746	0,685939165	61,14
64,00	57,53	0,0854944065	77,504	0,814500442	0,686231849	63,12
66,00	57,83	0,0901192131	77,797	0,814106021	0,686518691	65,11
68,00	58,13	0,0947916048	78,094	0,813720445	0,686798996	67,09
70,00	58,44	0,0995040542	78,394	0,813344597	0,687072132	69,07
72,00	58,75	0,1042489803	78,696	0,812979277	0,687337524	71,06
74,00	59,06	0,1090187634	79,000	0,812625202	0,687594659	73,04
76,00	59,37	0,1138057602	79,305	0,812283003	0,687843088	75,03
78,00	59,69	0,1186023194	79,611	0,811953226	0,688082422	77,02
80,00	60,00	0,1234007964	79,918	0,811636332	0,688312336	79,00
82,00	60,31	0,1281935684	80,224	0,811332698	0,688532565	80,99
84,00	60,63	0,1329730496	80,530	0,811042615	0,688742906	82,98

Příloha 2

Tabulka výpočtu obrysu vačky – klesání z konstantního poloměru R=68 mm na poloměr R=52 mm (viz výrobní výkres krokové vačky).

φ [°]	r [mm]	Ψ [°] (12)	r [mm] (9)	$\cos \delta$ [°] (10)	δ [°]	Φ [°] (11)
306	52,00	0,0000000000	72,138	0,82419848	0,679145503	0,47
304	52,01	0,0000956234	72,144	0,824184968	0,679155542	1,53
302	52,02	0,0003823462	72,162	0,824144491	0,67918513	3,53
300	52,06	0,0008597261	72,191	0,824077222	0,679234501	5,52
298	52,10	0,0015270263	72,233	0,823983449	0,67930332	7,52
296	52,15	0,0023832165	72,286	0,823863574	0,679391287	9,51
296	52,22	0,0034269732	72,351	0,823718107	0,679498019	11,51
294	52,30	0,0046566812	72,427	0,823547668	0,679623057	13,50
292	52,39	0,0060704350	72,515	0,823352978	0,679765861	15,49
290	52,49	0,0076660407	72,614	0,823134861	0,679925819	17,48
288	52,61	0,0094410178	72,724	0,822894231	0,680102248	19,47
286	52,73	0,0113926018	72,845	0,822632094	0,680294402	21,46
284	52,87	0,0135177472	72,977	0,822349538	0,680501471	23,45
282	53,02	0,0158131306	73,120	0,822047728	0,68072259	25,44
280	53,18	0,0182751541	73,274	0,821727897	0,680956845	27,42
278	53,35	0,0208999502	73,437	0,821391342	0,681203273	29,41
276	53,53	0,0236833856	73,611	0,821039412	0,681460877	31,40
274	53,72	0,0266210670	73,795	0,820673504	0,681728623	33,38
272	53,92	0,0297083464	73,988	0,820295053	0,682005451	35,36
270	54,13	0,0329403276	74,190	0,819905521	0,682290282	37,35
268	54,34	0,0363118730	74,401	0,819506394	0,682582022	39,33
266	54,57	0,0398176110	74,621	0,819099169	0,682879569	41,31
264	54,80	0,0434519444	74,849	0,818685346	0,683181821	43,30
262	55,05	0,0472090585	75,085	0,818266421	0,683487681	45,28
260	55,30	0,0510829311	75,329	0,817843876	0,683796062	47,26
258	55,56	0,0550673420	75,580	0,817419171	0,684105896	49,24
256	55,82	0,0591558838	75,838	0,816993737	0,684416138	51,23
254	56,09	0,0633419729	76,102	0,816568969	0,684725771	53,21
252	56,37	0,0676188616	76,372	0,816146216	0,685033812	55,19
250	56,65	0,0719796499	76,648	0,815726778	0,685339318	57,17
248	56,94	0,0764172988	76,928	0,815311895	0,685641386	59,16
246	57,23	0,0809246433	77,214	0,814902746	0,685939165	61,14
244	57,53	0,0854944065	77,504	0,814500442	0,686231849	63,12
242	57,83	0,0901192131	77,797	0,814106021	0,686518691	65,11
240	58,13	0,0947916048	78,094	0,813720445	0,686798996	67,09
238	58,44	0,0995040542	78,394	0,813344597	0,687072132	69,07
236	58,75	0,1042489803	78,696	0,812979277	0,687337524	71,06
234	59,06	0,1090187634	79,000	0,812625202	0,687594659	73,04
232	59,37	0,1138057602	79,305	0,812283003	0,687843088	75,03
230	59,69	0,1186023194	79,611	0,811953226	0,688082422	77,02
228	60,00	0,1234007964	79,918	0,811636332	0,688312336	79,00
226	60,31	0,1281935684	80,224	0,811332698	0,688532565	80,99
224	60,63	0,1329730496	80,530	0,811042615	0,688742906	82,98

222	60,94	0,1377317054	80,834	0,810766295	0,688943213	84,97
220	61,25	0,1424620664	81,137	0,810503871	0,689133398	86,96
218	61,56	0,1471567429	81,438	0,810255398	0,689313429	88,95
216	61,87	0,1518084376	81,736	0,810020858	0,689483325	90,94
214	62,17	0,1564099591	82,032	0,809800166	0,689643156	92,93
212	62,47	0,1609542337	82,323	0,80959317	0,689793037	94,92
210	62,77	0,1654343175	82,611	0,809399657	0,689933129	96,91
208	63,06	0,1698434072	82,894	0,809219358	0,690063632	98,90
206	63,35	0,1741748511	83,173	0,809051952	0,690184782	100,90
204	63,63	0,1784221583	83,446	0,808897071	0,690296851	102,89
202	63,91	0,1825790083	83,713	0,808754304	0,690400139	104,88
200	64,18	0,1866392592	83,974	0,808623206	0,690494974	106,88
198	64,44	0,1905969554	84,229	0,808503296	0,690581704	108,87
196	64,70	0,1944463346	84,477	0,808394068	0,690660699	110,87
194	64,95	0,1981818343	84,717	0,808294995	0,690732343	112,86
192	65,20	0,2017980973	84,950	0,808205532	0,690797032	114,86
190	65,43	0,2052899769	85,175	0,80812512	0,690855172	116,86
188	65,66	0,2086525411	85,392	0,808053194	0,690907172	118,85
186	65,87	0,2118810764	85,600	0,807989184	0,690953446	120,85
184	66,08	0,2149710912	85,799	0,807932524	0,690994405	122,85
182	66,28	0,2179183185	85,989	0,807882649	0,691030457	124,85
180	66,47	0,2207187179	86,169	0,807839005	0,691062003	126,85
178	66,65	0,2233684776	86,340	0,807801051	0,691089435	128,84
176	66,82	0,2258640158	86,501	0,807768261	0,691113135	130,84
174	66,98	0,2282019813	86,652	0,807740127	0,691133468	132,84
172	67,13	0,2303792550	86,792	0,807716167	0,691150784	134,84
170	67,27	0,2323929496	86,922	0,80769592	0,691165417	136,84
168	67,39	0,2342404101	87,041	0,807678955	0,691177677	138,84
166	67,51	0,2359192139	87,149	0,807664869	0,691187857	140,84
164	67,61	0,2374271705	87,247	0,807653294	0,691196222	142,84
162	67,70	0,2387623214	87,333	0,807643893	0,691203016	144,84
160	67,78	0,2399229395	87,408	0,807636366	0,691208455	146,84
158	67,85	0,2409075293	87,471	0,807630449	0,691212731	148,84
156	67,90	0,2417148259	87,523	0,807625919	0,691216005	150,84
154	67,94	0,2423437952	87,564	0,807622589	0,691218411	152,84
152	67,98	0,2427936330	87,593	0,807620315	0,691220054	154,84
150	67,99	0,2430637653	87,610	0,807618992	0,69122101	156,84
148	68,00	0,2431538476	87,616	0,807618558	0,691221324	158,84

Příloha 3.

Výkresová dokumentace